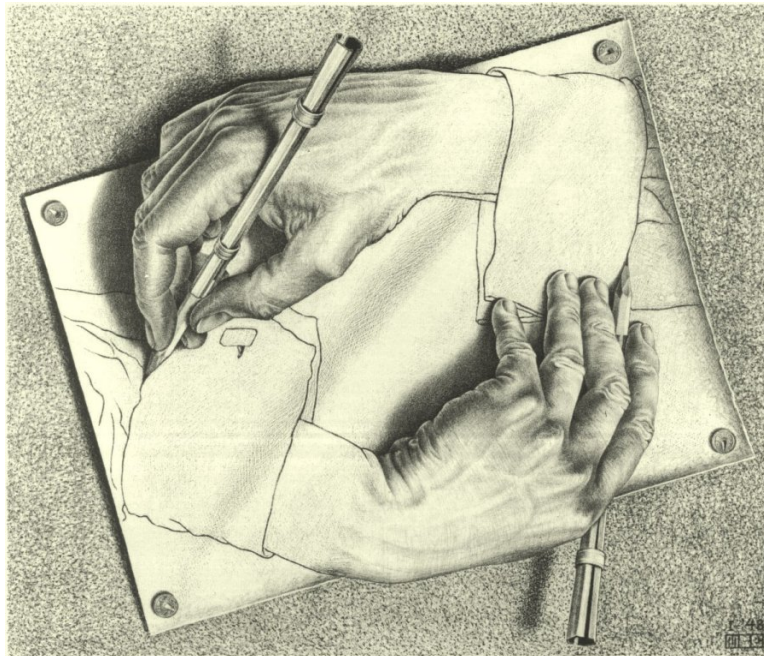




Estructuras de Pensamiento Complejo

GUÍA DE TRABAJO



Jorge Augusto Pérez Alcázar

Johan Manuel Redondo

María Teresa Vargas Moreno



Estructuras de Pensamiento Complejo
GUÍA DE TRABAJO

Jorge Augusto Pérez Alcázar

Johan Manuel Redondo

María Teresa Vargas Moreno

Universidad EAN

Julio, 2011

Contenido

Introducción	4
Introducción al Paradigma de la Complejidad.....	8
1. Los Paradigmas.....	9
2. El Reduccionismo	21
3. El Determinismo	29
4. El Paradigma de la Complejidad.....	40
5. Metacognición	51
6. Categorías.....	59
Introducción a la Teoría General de Sistemas	66
7. Los Sistemas.....	67
8. Recursividad y Fractalidad	75
Introducción a la Dinámica de Sistemas	97
9. Relaciones Causales	101
10. Diagramas Causales	107
11. Arquetipos Sistémicos.....	124
12. Diagramas de Niveles y Flujos	140
Bibliografía.....	158

Introducción

Nos hemos imaginado tantas veces como no lo ha permitido el tiempo un mundo distinto, en el que nuestras estructuras mentales (como individuos y como sociedad) favorezcan el libre desarrollo de ese llamado muy interno que nos conduce hacia la plenitud.

Al igual que muchos de ustedes, nuestros lectores, hemos creído en la posibilidad de hacerle frente a la deshumanización y a la desnaturalización que invade cada poro de nuestro planeta.

Pero adicionalmente, hemos tenido la gratísima oportunidad de formar parte de un recinto académico y ubicarnos en el espacio más importante de este: el aula. Nuestra formación, aunque diversa, nos ha puesto como punto de encuentro el de las matemáticas, y desde esta disciplina, nos hemos adentrado en la hermosa aventura de la resolución de problemas.

Muchas veces decimos, con un dejo humorístico, que la vida y las matemáticas son iguales: solo se aprenden a partir de problemas, y es por esto que hemos dedicado mucho de nuestro tiempo tratando de enseñar a resolver problemas a nuestros estudiantes.

Desafortunadamente, nos encontrábamos con dificultades que se salían completamente de nuestra disciplina y nos preguntábamos si valdría la pena invertir tiempo en lo que quizás otro debería hacer o que el aprendiz ya debería haber adquirido.

En este orden de ideas, dos de los autores de este libro, María Teresa y Jorge, adelantaron una investigación en la que señalaron que el principal problema de los estudiantes al querer resolver problemas, era la forma como se había estructurado su pensamiento. De esta última, dependía algo tan importante como la actitud favorable hacia el conocimiento, sin la cual nadie aprende.

La pregunta siguiente era: - ¿cuál o cuáles estructuras de pensamiento deberían tener?- y es aquí donde aparece para nosotros una estructura de pensamiento que desarrolla *la aptitud natural del pensamiento para plantear y resolver problemas y, correlativamente, estimula el pleno empleo de la inteligencia general*¹: el pensamiento complejo.

Inicialmente, de la mano de Edgar Morin, comenzamos a realizar nuestras primeras aproximaciones a eso que se denominaba la complejidad y logramos incluso convertirla en una unidad de estudio que ha venido cobrando cada vez más importancia y prestigio en la Universidad EAN (Bogotá D.C., Colombia). En ese momento se añadió al grupo de investigación Johan Manuel, quien estaba desarrollando trabajos en Sistemas Dinámicos y Dinámica de Sistemas y se sintonizó inmediatamente con el espíritu de este trabajo.

Es así como nace esta publicación, del cariño con el que desde el principio hemos querido ofrecerles a todos nuestros estudiantes, la posibilidad de tener una estructura de pensamiento que les permita acercarse de forma exitosa a los diferentes procesos que en la universidad han preparado para ellos, pero también a sí mismos, a sus familias, a su comunidad.

El libro está estructurado, para esta primera edición, en tres partes: introducción al pensamiento complejo, introducción a la teoría general de sistemas e introducción a la dinámica de sistemas.

En la primera parte, se pretende mostrar la existencia de patrones mentales que nos determinan, los paradigmas, para, de esta forma, presentar el paradigma bajo el cual se ha hecho todo el constructo social y cultural, el reduccionismo, desde el que se han configurado procesos de deshumanización y desnaturalización, que no solo evidencian lo muy irracional de nuestra especie racional, sino que además amenaza con extinguirnos. En ese sentido, hemos logrado plasmar nuestras intenciones de carácter pro ambiental.

¹ Morin, Edgar (2001). La Cabeza Bien Puesta, Repensar la Reforma, Reformar el Pensamiento, Bases para una Reforma Educativa, Editorial Nueva Visión, Buenos Aires, pg. 24.

Continuamos hablando de la antigua concepción malentendida del determinismo que condujo a la extirpación de la subjetividad, de la incertidumbre, de la ambigüedad y de la paradoja, por ser fuentes generadoras de error, y de las implicaciones de una estructura de pensamiento en estas condiciones.

Después, presentamos uno de los paradigmas más importantes de nuestro tiempo: **la Complejidad**, desafortunadamente, solo lo haremos de forma introductoria, pues el concepto no solo engloba una gran cantidad de *Scienza Nuova* con aplicaciones muy importantes de actuales descubrimientos científicos, sino que además, comprende un amplio número de conceptos que la más de las veces son difíciles de comunicar. Esta primera parte tiene, adicionalmente, dos capítulos que pretenden iniciar al estudiante en el ejercicio de comprensión de sus propios procesos cognitivos.

En la segunda parte, hacemos una introducción a la teoría general de sistemas, explorando los conceptos fundamentales de esta teoría como lo son el de sistema, retroalimentación, iteración, recursividad, fractalidad, emergencia, constreñimiento, entropía y neguentropía.

En esta parte hemos dedicado dos capítulos a la introducción de los conceptos de recursividad y fractalidad, asociados a la teoría de los sistemas dinámicos no lineales o teoría del caos como publicitariamente se ha denominado, los cuales se desarrollan teniendo en cuenta tanto su construcción matemática como la importancia de la identificación de ellos en diferentes contextos.

La última parte la hemos dedicado a una introducción a la dinámica de sistemas, en la que nos hemos orientado fundamentalmente a la construcción de diagramas causales, principalmente porque la construcción de diagramas causales y bucles de retroalimentación, como metodología, facilita el ejercicio de conceptualización y comprensión de los más diversos problemas. Para ellos nos valdremos también del uso de arquetipos sistémicos.

El libro ha sido escrito con el objetivo de ser usado como una guía de trabajo de fácil implementación en la empresa o en el aula de clase, por lo cual cada capítulo se ha dividido en las siguientes secciones:

- **Leamos** estudios de caso
- **Observemos** nuestros comportamientos
- **Aprendamos** sobre el concepto
- **Evaluemos** nuestra comprensión del concepto
- **Comentemos** con nuestros compañeros
- **Profundicemos** en lo presentado

Una sección más ha sido tenida en cuenta para la primera parte, en la que se descubren las estructuras mentales:

- **Actuemos** sobre la base de un proyecto personal

El cual tiene como objeto la implementación de un proyecto personal que o bien signifique un avance en los desarrollos profesionales de quien lo lleva a cabo, o la realización de una actividad de esas que siempre hemos aplazado, pero que daría un gran valor humano a nuestros desempeños.

El contenido de este libro puede ser usado en cursos de pregrado, posgrado o en capacitación de profesionales en instituciones educativas o en la misma empresa, pues aunque maneja conceptos muy especializados que pueden desafiar a los estudiantes de posgrado, también cuenta con un manejo del idioma que hace próximo su dominio.

En tal sentido, favorece la apertura intelectual libre de reduccionismos extremos, sensibles a lo humano, aptos para la resolución de problemas, estrategias frente a la incertidumbre, de una alta y pertinente capacidad de decisión y líderes empresariales.

Introducción al Paradigma de la Complejidad

“EXPLORANDO NUESTRAS ESTRUCTURAS MENTALES”

1. Los Paradigmas

Para asumir el desafío de construcción de una nueva estructura mental, se tiene como primera meta la exploración de nuestras propias estructuras, y esto se inicia con la exploración de nuestros paradigmas actuales, los cuales provienen de las más diversas fuentes, todas asociadas a nuestros contextos diferentes.

Descubrir estas estructuras nos pone en evidencia con nosotros mismos, con la forma como concebimos a los demás, con el estilo de vida que llevamos y con nuestro proyecto de vida.

Leamos

A principios del siglo XVII la muy aceptable y respetada inquisición obligó a Galileo Galilei a arrodillarse y retractarse de su "error". La iglesia de la época indicaba que los resultados encontrados por Galilei no tenían ningún carácter científico, sino que eran el resultado de brujería, luego sus conclusiones cuestionaban directamente al Dios Todopoderoso, cuando realmente lo que Galileo ponía en cuestión era el conocimiento que de Dios tenía este cuerpo religioso. Al pasar los años y llegar a nuestros días, la concepción de estos hechos históricos de enorme valor para nuestra especie cobran un significado distinto, pues sabemos hoy que Galileo no era brujo y que la inquisición después de todo no era tan aceptable ni tan respetable como se afirmaba.

En el hecho histórico comentado hubo un cambio en la forma de pensar acerca de una persona y una institución, lo cual no se logró inmediatamente, sino que fue el resultado de muchos años de continua reformulación cultural de la idea.

Estos eventos ocurren con mucha regularidad en diferentes contextos y son muy importantes para definir los estilos de vida (costumbres, hábitos, vicios) y los destinos globales tanto del medio natural como de nuestro desarrollo humano, pues estas ideas arraigadas a nuestro comportamiento nos determinan.

Recordemos por ejemplo el orgullo que representaba a los ciudadanos de una provincia el gran gusano negro de gases de carbono (CO_x)² que se desprendía imponente detrás de cada tren durante el siglo XIX. Tal acontecimiento solo representaba una cosa: *progreso*. La percepción cultural que en la época se tenía de un tren provenía de la incuestionable percepción que tenían los científicos.

A principios de este siglo tal evento solo supone contaminación y mayores problemas climáticos. Pero, ¿Cómo se iba a imaginar un comensal de la época que el progreso amenazaría con extinguir la vida en el planeta?

Esta vez el cambio en la percepción, el cambio en la estructura mental global que veía la contaminación como sinónimo de progreso, cambió nuestra relación con lo natural, marginándole y conduciéndole a esta relación violenta que los principios de este siglo XXI nos ha mostrado la naturaleza que desea tener con nosotros.

La estructura mental generada por la cultura de los siglos XIX y XX nos está conduciendo a fenómenos ambientales que no podemos predecir exactamente pero que con seguridad están poniendo en riesgo el agua y los alimentos (fundamentales para la vida) a la vez que a nuestras principales fuentes de energía (fundamentales para el desarrollo de nuestros actuales estilos de vida). Solo un nuevo cambio en la forma como concebimos el progreso podría salvaguardarnos de los peligros que ignorantemente hemos generado por la cultura de consumo.

Las situaciones anteriores ilustran determinantes de nuestra forma de pensar acerca de personas, instituciones, conceptos y prácticas, lo cual nos conduce hacia el concepto que intuitivamente estamos buscando formar: el de *paradigma*.

Este concepto puede facilitar las cosas y llevarnos a la plenitud, o convertirse en una trampa del pensamiento que conduce a situaciones paralizantes, como señala O'Connor y

² Los CO_x son gases de óxido de carbono como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO_2) que aparecen en procesos de combustión (quema) de material orgánico, produciendo ese color negro que les caracteriza.

McDermott (1998), fundamentalmente por no ser muy claros respecto a lo que queremos, o por no tener conciencia de las creencias limitadoras que mantienen el problema.

Un claro indicador de lo que tenemos en nuestro sistema de creencias está en nuestras expresiones verbales. Estas suelen revelar nuestros modelos mentales limitadores. Al respecto incluso encontramos en la biblia un pasaje que señala: *de la abundancia del corazón habla la boca*³.

Observemos

1. Establezca algunas de las ideas que desde el punto de vista emocional, profesional, social, religioso y deportivo le determinan y explique cómo se reflejan en su vida.

2. Cite algún hecho histórico en el que pueda evidenciarse, al menos intuitivamente, la existencia de paradigmas.

3. Construya una matriz en la que enfrente su paradigma escolar con el paradigma universitario tratando de mostrar en ella la diferencia entre conceptos como estudiar, dedicarse, ser disciplinado, ser crítico, ser juicioso y otros relacionados que se le ocurran. Después busque las definiciones rigurosas de cada uno de esos conceptos y compare con lo planteado en la matriz. Saque conclusiones.

³ Mateo 12 versículo 34.

4. Conteste verdadero o falso a las siguientes afirmaciones

- a. Insisto en que mis ideas describen lo que la realidad es realmente ()
- b. Tengo un número limitado de intereses que me llevan a prescindir de muchas otras experiencias. ()
- c. Soy incapaz de tolerar la ambigüedad y quiero alcanzar cuanto antes las conclusiones. ()
- d. Recorro a un fondo de explicaciones inventadas cada vez que una persona o algún acontecimiento se comporta de manera distinta a como lo esperaba. ()
- e. Utilizo un montón de operadores modales (deber, tener que, no deber, no poder) y no los cuestiono nunca. ()
- f. Utilizo muchos universales (todos, todo el mundo, nadie, nunca) sin admitir excepciones. ()
- g. Estoy dispuesto a generalizar a partir de un ejemplo. ()
- h. Me sirvo de múltiples experiencias unilaterales y sin enfoque temporal como prueba de mis ideas. ()
- i. Culpo de los fallos a las otras personas. ()
- j. Pienso en secuencias rectilíneas de causa y efecto. ()
- k. No muestro curiosidad por nada. ()
- l. No actualizo nunca mis creencias a la luz de la experiencia. ()

El mayor porcentaje de respuestas con verdadero identifica su mayor tendencia a un modelo mental rígido y limitador⁴.

Aprendamos

Los modelos mentales dan significado y se constituyen por⁵ **eliminación** de los datos que en nuestro entorno escapan de nuestra posibilidad de convertirlos en información útil o que

⁴ Adaptado de O'Connor, J. y McDermott, I. (1998). Introducción al pensamiento sistémico, recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas. Editorial Urano: Barcelona. Pág. 138.

⁵ *Ibíd.*, pág. 94 a 97.

sencillamente no se encuentran en el espectro de nuestros intereses. A continuación, con los datos aceptables, se entra en la etapa de **construcción** del modelo mental que sostendrá nuestra percepción, para lo cual tendrá que hacerse de valiosos argumentos, no todos ciertos, que le conducirán a un proceso que se asocia al anterior, el de **distorsión** de todo lo que le sea contrario, para finalmente realizar la **generalización** que termina por constituir la estructura mental. Diremos que un **Paradigma** es un modelo mental que se refuerza a sí mismo, es decir, que se auto refuerza⁶.

Muchas veces en nuestro ejercicio profesional como educadores hemos encontrado estudiantes que carecen del sentido de la puntuación y que, adicionalmente le restan importancia. Su paradigma indica lo innecesario de esas “molestas reglas”, por lo que las ha eliminado, y debido a su poca vocación de escritura, que muchas veces no llega ni al ejercicio de chatear, construye toda una argumentación, en instantes hasta molesta, para reforzar su idea de lo innecesario de la puntuación, con lo que queda distorsionado completamente la herramienta gramatical. Pero no contento con esto, generaliza su incompreensión y hasta pretende convencernos de su error explicándonos el uso que otras lenguas tienen esas “pepitas”. A continuación, presentamos un mismo texto al que se le han variado los signos de puntuación⁷ con lo cual pretendemos desnudar el error cometido por quienes tales prácticas tienen:

Querido Adelaido,

Busco un hombre que sienta algo verdadero del amor. No quiero ni mencionar la palabra “lejos”. De ti me gusta todo: tu voz, tu risa, tus manos. Me dan escalofríos al recordar los momentos en los que estamos juntos. Siento angustia estando sin ti. La felicidad me embarga a tu lado. Se me hacen los días larguísimos en tu ausencia.

⁶ Ibid., pág. 269.

⁷ Ibid., pág. 179.

Sueño algunas noches con espanto en que estás aquí junto a mí,
muerto sobre el lecho.

Quisiera verte ahora mismo.

Olga

Querido Adelaido,

Busco un hombre que sienta algo verdadero. Del amor no quiero ni
mencionar la palabra. Lejos de ti me gusta todo. Tu voz, tu risa, tus
manos me dan escalofríos. Al recordar los momentos en los que
estamos juntos siento angustia. Estando sin ti la felicidad me
embarga. A tu lado se me hacen los días larguísimos. En tu ausencia,
sueño algunas noches con espanto en que estás aquí, junto a mí.
muerto sobre el lecho quisiera verte ahora mismo.

Olga

Con el texto anterior queda más que claro que el paradigma con el que nos acercamos a
cualquier situación o conocimiento condiciona nuestra comprensión del mismo. De ahí la
importancia de este crucial concepto.

El origen contemporáneo del término paradigma se le atribuye a Thomas Kuhn⁸, quien
reconoció el papel que estos desempeñan en la investigación científica.

Para Kuhn un paradigma es una realización científica universalmente reconocida que,
durante cierto tiempo, proporciona modelos de problemas y soluciones a una comunidad
científica. Es decir, un paradigma determina:

- Lo que se debe observar y escrutar.

⁸ Kuhn, Thomas (1992). La estructura de las revoluciones científicas, Fondo de cultura económica, Bogotá D.C., p 13.

- El tipo de interrogantes que se supone hay que formular para hallar respuestas en relación al objetivo.
- Cómo tales interrogantes deben estructurarse.
- Cómo deben interpretarse los resultados de la investigación científica.

El carácter científico de esta definición de paradigma, viene en contracorriente de algunos aspectos de nuestra tradición cultural, los cuales se ven cuestionados desde su formulación hasta las conclusiones con las que actúa.

Es así, como por ejemplo, hemos visto la clara confrontación entre los que cuestionan al ortopedista y los que cuestionan al sobandero. “Un ortopedista ni siquiera intenta acomodar el hueso”, por otro lado, “el sobandero no sabe exactamente que debe mover y que está moviendo”. Sus conocimientos pasan entonces por un acto de fe del paciente, es decir, un acto de en quien confía más.

Desde el punto de vista de Kuhn, el paradigma científico estaría dado por el ortopedista, pues su conocimiento procede de la universidad (organismo científico aceptado), quien ya ha establecido los procedimientos con los que deberá actuar y, por lo tanto, ya ha decidido que se debe observar y escrutar en el paciente, el tipo de interrogantes que se supone hay que formular para hallar respuestas en relación al objetivo, cómo tales interrogantes deben estructurarse y cómo deben interpretarse los resultados desde su área de conocimiento. Esto garantiza que al acercarnos en consulta a un ortopedista nos podamos sentir tranquilos y tengamos el mejor tratamiento.

Sin embargo, el conocimiento adquirido por el sobandero, que no tiene el carácter científico y que es fruto de la experiencia, ha demostrado su capacidad de curación con múltiples ejemplos.

En este sentido, hablamos del reconocimiento que hace un cuerpo social de los “poderes” que una ciencia empírica posee, lo cual no es otra cosa, que la reconstrucción que hace nuestra mente frente a hechos contundentes y que son traducidos culturalmente en el

sentido de tales hechos. La lógica a la que obedece es lógica para el que la elabora, aún cuando el argumento científico fuese contrario.

Luego, en esta tónica, descubrimos que el término paradigma como lo trata Kuhn, sesgado completamente a lo científico, se nos desborda y proclama su presencia en todos los estratos intelectuales de la sociedad. Razón por la cual debemos redefinir el término.

Uno de los más reconocidos y aceptables escritores sobre complejidad, como señalaremos en capítulos siguientes, es el francés de descendencia judía Edgar Morin, quien refiriéndose al concepto de paradigma nos dice que este puede ser definido por⁹:

- La promoción/selección de los conceptos maestros de la inteligibilidad. Es decir, la revelación del problema cognitivo central: todo conocimiento es una reconstrucción/traducción que hace una mente/cerebro en una cultura y un tiempo determinados.
- La determinación de las operaciones lógicas maestras. El paradigma funda el axioma y se expresa en el axioma, señalando el tipo de lógica que debe llevarse: exclusión – inclusión, disyunción – conjunción, implicación – negación.

Para comprenderlo vamos a Gardner (2007)³ quien comenta que cada ser humano nace en una cultura que agrupa una enorme cantidad de *ámbitos*: disciplinas, ocupaciones y otras empresas que podemos plantear y sobre las que podemos ser evaluados según el nivel de destreza que hayamos alcanzado.

Casi todos estos ámbitos requieren de destrezas en un conjunto de *inteligencias*¹⁰ diferentes y toda inteligencia se puede aplicar en un amplio abanico de ámbitos culturales.

Continúa Gardner (2007) agregando el concepto de *campo*, un constructo sociológico que comprende a la gente, las instituciones, los mecanismos de premiación y todo lo que hace

⁹ Morin, Edgar (2001). *La Cabeza Bien Puesta*, Repensar la reforma, reformar el pensamiento, Bases para una reforma educativa, Editorial Nueva Visión, Buenos Aires.

¹⁰ Para Gardner la inteligencia es la capacidad de resolver problemas, o de crear productos, que sean valiosos en uno o más ambientes culturales.

posible emitir juicios acerca de la calidad del desempeño laboral. Este concepto es importante porque en la medida en que un campo nos juzgue competentes, es probable que tengamos éxito en él; por otra parte, si el campo es incapaz de evaluar nuestro trabajo o si lo juzga deficiente, entonces se verán radicalmente coartadas nuestras oportunidades de éxito.

La trilogía inteligencia/ámbito/campo define los paradigmas, aunque explícitamente no esté en capacidad de reconocerlos. El paradigma establecido por esta trilogía determina, por ejemplo, lo que ha de ser llamado creativo, ya que, según comenta el mismo autor, se considera creativo al individuo que resuelve regularmente problemas o inventa productos en un ámbito, y cuyo trabajo es considerado innovador y aceptable por los miembros reconocidos de un campo.

Sobre los paradigmas Morin (2001) nos dice que estos juegan un rol al mismo tiempo subterráneo y soberano en cualquier teoría, doctrina o ideología. El paradigma es inconsciente pero irriga el pensamiento consciente, lo controla y, en este sentido, es también sub-consciente. Es decir que, un paradigma puede al mismo tiempo dilucidar y cegar, revelar y ocultar. Es en su seno donde se encuentra escondido el problema clave del juego de la verdad y del error.

Evaluemos

1. ¿Qué es un paradigma?

2. Cite 3 ejemplos de paradigmas científicos que se convirtieron en paradigmas culturales.

3. ¿Quién determina los paradigmas?

Actuemos

En esta sección “actuemos”, la idea es que cada quien diseñe una actividad de corto plazo (3 meses), a la que denominaremos proyecto personal, en la que se puede desarrollar una de dos tipos de actividades distintas:

- Actividades que como gerente o jefe de área o cualquiera relacionada con el manejo de personas fortalezcan sus competencias de liderazgo frente a sus subalternos y el desempeño de estos frente al objetivo de la organización que se administra. Actividades como mejorar los procesos, el compromiso del equipo de trabajo, la actitud entre compañeros de trabajo o implementar nuevas tecnologías o dinámicas son claros ejemplo de esto.
- Actividades encaminadas a satisfacer el deseo de realizar alguna acción muy personal que hayamos deseado hacer pero que por sus costos en tiempo y en disciplina hayamos venido aplazando. Ejemplos de estas son tocar algún instrumento musical, montar algún baile, practicar disciplinadamente alguna actividad física (por placer, por salud, por estado físico), aprender a cocinar algunos platos típicos o exóticos, practicar alguna actividad de las que denominan extrema, etc.

Este tipo de actividades son las recomendadas para la exploración y perturbación de nuestros paradigmas, además del posicionamiento de este nuevo paradigma: el de la Complejidad. Sin embargo, es posible considerar otro tipo de actividades en común acuerdo con el encargado de la implementación de este libro.

La idea es demostrarse a sí mismo la posesión de ese poder de auto volición, que en el marco de la disciplina y de la constancia, nos permite remontarnos sobre nuestros propios paradigmas.

Expresiones como “no sé hacerlo” o “eso es para otros” a sabiendas del anhelo que existe en el corazón de realizar ciertas actividades, develan las estructuras mentales que nos detienen y alejan de una verdadera realización personal.

El ejercicio de un proyecto personal, adicionalmente, nos permite avanzar en la comprensión de lo intrapersonal, importante en la construcción de humanidad, y de lo interpersonal, vital en este nuevo siglo de organizaciones.

Para realizar su propuesta de proyecto personal tenga en cuenta todas las posibilidades sin olvidar la viabilidad de las mismas y los avances que podrá mostrar a medida que avanza en el tiempo. En caso de ser un proyecto a mediano o largo plazo, escoja una de las actividades que le conduzcan al proyecto principal.

Algunos de los elementos a tener en cuenta para la formulación de su proyecto deberían ser los siguientes:

a. Título del proyecto.

Una vez tenga clara su propuesta, proceda a ponerle un título. El título debe incluir palabras que ayuden a ver el proyecto como un hecho realizable.

b. Objetivo general.

El objetivo es la meta que se quiere alcanzar al terminar ese corto plazo propuesto.

c. Objetivos específicos.

Son los pasos que a seguir para llegar a su meta final y deben ser posibles de alcanzar. Están relacionados con las actividades que se harán y deben ser cuantificables.

d. Actividades

Son las acciones que verifican los objetivos específicos propuestos.

Para la evaluación del proyecto, debe pensarse en que esta sea un proceso continuo. Para ello, deberán presentarse avances en los que se verifique la ejecución de las actividades. Al final del tiempo estimado para la ejecución del proyecto se sugiere realizar una presentación pública de este.

Comentemos

En grupos de cuatro personas hagamos una lista de los cambios históricos ocurridos en los paradigmas que condujeron a nuestra cultura a los conceptos modernos de moda, medioambiente, comunicaciones y vicios.

Profundicemos

Como sugerencia de profundización le invitamos a leer el libro “Pensamiento Sistémico” de Enrique G. Herrscher, a través del cual se puede reconocer el cambio paradigmático que ha venido ocurriendo en la interpretación del ejercicio empresarial, al igual que otros elementos que poco a poco nos van introduciendo en los conceptos relacionados con el pensamiento complejo, en este caso desde la sistémica.

También se recomienda ver la película “el hombre bicentenario” con Robin Williams, en la que el protagonista se transforma gradualmente en su apariencia para lograr la aceptación paradigmática, mientras al mismo tiempo transforma el paradigma de su época.

2. El Reduccionismo

En este apartado introduciremos el concepto de uno de los paradigmas más importantes de nuestra época, como es el paradigma del reduccionismo, sus características e implicaciones, y como ha venido sustentando la ciencia, la cultura y la vida cotidiana en general.

Leamos

Después de las grandes revoluciones científicas que condujeron a la revolución industrial y a encontrar la forma de extinguirnos con oprimir tan solo un botón, se impregnó nuestra cultura de la clave de tanto poder: *El Reduccionismo*. Ese movimiento que se metió en la tecnología y le permitió avanzar, que se involucró en las organizaciones sociales y nos trajo el actual paradigma económico, que nos permitió alcanzar este punto cumbre en la evolución como especie, ese al que podríamos achacarle prácticamente todo, pudo todo; menos mostrar nuestra verdadera naturaleza y la de los problemas que hemos adquirido.

Hoy decimos que el reduccionismo fue importante en su momento, revolucionario para la época, vital para el desarrollo, pero la evolución en la construcción de humanidad y en la preservación ambiental nos exige cambiar este paradigma.

El Reduccionismo consiste en sostener que es posible comprender el todo desde la parte. Por ejemplo nuestros presos; estos seres humanos han sido reducidos a su cualidad peor y encerrados sin tener la posibilidad de mostrar sus otras cualidades. Creemos que sabemos todo de ellos porque les conocemos un defecto que aflora drásticamente, pero desconocemos las motivaciones de sus actuaciones.

Otro ejemplo lo vemos en los estados depresivos y suicidas. La víctima de tales dolores está encerrada en la acción o la condición que le llevo a dicho estado. Todo su mundo se redujo hasta convertirse en el motivo del llanto.

Para esta persona no hay oportunidad de ver algo más. Cayó en la trampa del reduccionismo. Note que esta condición no es diferente de la que tenemos muchos; nos redujeron a nuestra cualidad peor y fuimos ridiculizados, encerrados en el conflicto de ir perdiendo el auto estima, en nuestra mente igualmente presos.

Un ejemplo más lo constituye el *racismo* y la *xenofobia*. En estas formas de discriminación entendemos lo que significa discriminar: reducir a una persona a una cualidad y, entonces, jerarquizar su diferencia. Nuestra sociedad lo vivencia en cada esquina: aquel se pintó el pelo de rojo y no se peinó, entonces es peligroso y sucio; aquel estudia juiciosamente, entonces es un ñoño y tenemos que menguarlo; aquel es hucha de millonarios, entonces debemos asesinarlo; este otro practica el judaísmo, entonces debemos golpearlo; este es godo y la otra es cachiporra, entonces no pueden casarse. De hecho nos enseñan que no debemos hablar ni de religión ni de política, como si lo diferente solo significara "oportunidad de humillar, aplastar, entrar en conflicto, quitar la dignidad, robar los sueños, asesinar". Entonces, ¿qué nos hace diferentes de los que están en la cárcel? El ser humano tiene la capacidad de cambiar esta situación.

Como el cuento de dos judíos que se encuentran muchos años después de haber escapado de un campo de concentración. El uno le dice al otro – ¿recuerdas todas las injurias, amenazas, maltratos, humillaciones y golpes con los que intentaron arrebatarlos los sueños, la dignidad y los deseos de vivir?-, el otro sencillamente le contesta - yo ya salí del campo de concentración-.

Observemos

Considera que su enfoque en los siguientes contextos es reduccionista:

- 1) Familiar
- 2) Laboral
- 3) Académico

Justifique su respuesta.

Aprendamos

La naturaleza nos muestra su éxito en la comprensión de la necesidad de lo diferente y de hacerlo dialogar: *La Naturaleza crea a la temperatura de su propia destrucción*. Esto es debido a que la naturaleza entiende la necesidad de poner a hablar a los antagónicos, porque los tales son complementarios, no hay pertinencia en anular al uno con el otro. Diremos que hay dialógica cuando tengamos dos conceptos antagónicos que sean complementarios.

Lo fantástico de las relaciones sexuales según el diseño de la naturaleza, está en la posibilidad que tienen la mujer y el hombre de complementarse, y abiertamente se incluye en esta complementación lo genital, sin demeritar las demás relaciones con sus naturalezas distintas.

El reduccionismo nos hace pensar que en lo único que debemos creer es en aquella porción reducida de conocimiento que tenemos del mundo y que hemos alcanzado escasamente. De todo lo demás tenemos tan solo una idea libremente concebida en nuestra mente, ideas a la que llamaremos Imaginarios¹¹. Sin embargo, intuimos que el mundo es algo mucho más grande y maravilloso que aquello que deseamos o aceptamos entender. Pero finalmente renunciamos a comprenderlo. Esta renuncia es genuinamente una renuncia a vivir, esta renuncia es genuinamente deshumanización, de los otros y de sí mismo.

La *Deshumanización* consiste en la pérdida de la vocación histórica. Vocación significa "llamado a", es decir, la pérdida de la vocación histórica o deshumanización significa la pérdida de la posibilidad de hacer parte de algo que lleve su nombre y por lo cual pueda

¹¹ El colombiano Armando Silva es uno de los más importantes exponentes mundiales en este tema y ha sido nuestro principal referente. La teoría de Edgar Morin se refiere a estos elementos como al error y la ilusión, sin embargo, nosotros adoptamos el concepto de Armando Silva, básicamente por colombiano y porque es distinto de lo que se estudia en muchos otros lugares del mundo bajo el nombre de creencias. Este último concepto nos incomoda debido fundamentalmente a que el sistema de creencias de cualquier individuo tiene tanto de cierto como de imaginario y se hará difusa la relación con las ideas de error y de ilusión que requerimos en este material. Los imaginarios tienen la apariencia de obstáculos epistemológicos que mencionase Aristóteles en su tiempo.

llegar a ser reconocido. Por ejemplo los jubilados; muchos de ellos al ser pensionados se mueren. Ellos formaban parte de la historia de un lugar en el que ya no están, que no les volverá a necesitar y que ya fue sustituido por otra persona que posiblemente lo hará mejor. Mientras tanto el está en su casa, desocupado y quizás hasta estorbando a los que no estaban acostumbrados a tenerlo tanto tiempo. En este sentido jubilar es deshumanizar. Pero tiene su pensión, podríamos decir, sin embargo, no podemos ser reducidos al poco de dinero que necesitamos¹².

La deshumanización la evidenciamos en nuestra cultura de lo instantáneo: el "vive ahora" casi significa "seamos libertinos hoy que el mañana no existe"; ni siquiera tenemos cultura del ahorro. También vemos la deshumanización en el reduccionismo a lo animal, que nos invita a vivir por la necesidad de lo instintivo.

La deshumanización se nos metió en lo social al punto que tratamos y nos dejamos tratar como a cosas; expresiones como "nadie es indispensable" que modernamente riega el discurso de muchos gerentes, no es otra cosa que deshumanización del recurso humano. Un ejercicio útil para la memoria y valido en contra de la deshumanización es saludar a todo el mundo por su nombre, es decirle a la otra persona: tú no eres como esta silla a la que uso, cambio cuando me antoje y ni siquiera determino.

El reduccionismo es el que nos quita a nuestros hijos adolescentes, a los que reducimos a la moda o al gesto que no entendemos, y a los que a causa de ese elemento que no nos gusta, usualmente de su personalidad¹³, terminamos negándoles toda su riqueza y potencialidad. En este sentido, los paradigmas también son reduccionismo.

¹² El trabajo dignifica al hombre, no es un castigo de Dios: En algunas traducciones de la Biblia, se señala que después del pecado original el hombre conseguirá sus recursos "con el sudor de su frente" lo cual, algunas personas lo interpretan pensando que al ser humano le costara más el trabajo, no que nunca lo hubiera tenido. Inclusive antes de la aparición de Eva, el relato bíblico habla de los oficios o trabajos que realizaba Adán para Dios.

¹³ Temperamento, carácter y personalidad son conceptos distintos. El temperamento es una condición de nacimiento e inmutable que nos hace más explosivos, más emotivos, más tranquilos, más melancólicos, etc. La personalidad se construye por la cultura y es lo que mostramos a los demás. Las culturas urbanas trabajan sobre los rasgos de la personalidad. Finalmente, el carácter es la forma como enfrentamos los problemas.

El reduccionismo es el que nos quita la oportunidad de ser músicos – matemáticos, ingenieros-panaderos, basquetbolistas - políticos y a alguien más veterinario - mecánico.

El reduccionismo es el que nos hace creer que lo único y lo más importante es lo que hacemos, despreciando todo lo que hacen lo demás. El reduccionismo le quita validez a los empleos no profesionales ignorándoles su pertinencia.

El reduccionismo nos hace creer que sabemos, pero, ¿Cómo sabemos que realmente sabemos lo que sabemos si lo sacamos de contexto? De hecho existe una disciplina, la epistemología, que se encarga de contestar dos preguntas: ¿qué sabemos? Y ¿cómo sabemos que sabemos?.

Todos estudiamos matemáticas, pero eso no pareciera servir a la hora de realizar ejercicios en la vida real. Si te acercas a un banco a consultar para un préstamo y al asesor no le sirve el simulador debes acercarte otro día pues no hay manera de que ellos te hagan la cuenta. De hecho las pruebas de inteligencia durante mucho tiempo midieron la capacidad matemática y del lenguaje, sin embargo, muchos exitosos de la historia reconocen haber perdido tales pruebas.

Estamos¹⁴ tan obsesionados con el tema del éxito y sus causalidades, que en 1921, Luis Terman, un profesor de psicología de la Universidad de Stanford y creador del famoso examen Stanford-Binet para evaluar la inteligencia humana, se dedicó a identificar a los mejores y más brillantes (cerebros) estudiantiles de primaria y preparatoria de California. Después de evaluar y reevaluar a más de 250,000 estudiantes, identificó a 1,470 cuyo I.Q. fue en promedio entre 140 y 200 (el I.Q. de Einstein era de 150). Terman denominó a su grupo de genios los "termitas".

Terman tenía un objetivo contundente: producir los líderes del futuro en ciencias, arte, gobierno, en todo. Para cuando los "termitas" llegaron a ser adultos, Terman se topó con una triste realidad: algunos de sus niños genios llegaron a publicar libros, de hecho dos fueron magistrados, dos legisladores estatales, uno un prominente servidor público estatal y

¹⁴ Adaptado del blog de Andres Roemer <http://www.andresroemer.com/blog/es/?p=5>

varios funcionarios públicos, sin embargo, ninguno de ellos, llegó a ser un personaje reconocido por sus logros. Ninguno fue premio Nobel, Pritzker, Pulitzer, Fields o algo que se le pareciera. La conclusión es que después de cierto nivel, la correlación entre el nivel de I.Q. y el éxito no es determinante. Un científico con un I.Q. de 130 tiene las mismas probabilidades de sacarse el premio Nobel que un científico con un I.Q. de 180. Es decir, después de cierto puntaje son más trascendentes otros criterios como el grado de ambición, las circunstancias, las oportunidades, el carácter, el carisma y el nivel socio-económico para ser notable, que el tamaño de la brillantez intelectual. Luego, no podemos ser reducidos al tamaño de nuestra cabeza, ya que existen otros elementos igualmente importantes.

Evaluemos

1. ¿Qué es la discriminación? ¿Cómo afecta la discriminación a las dinámicas dialógica?

2. Cite 3 ejemplos de deshumanización en procesos sociales y empresariales.

3. Cite ejemplos de imaginarios sociales que afecten los procesos sociales y empresariales.

4. ¿Para qué sirve la epistemología?

Actuemos

Analice las razones por las cuales escogió como proyecto personal el citado en el anterior capítulo. Para ello, tenga en cuenta aspectos intrapersonales como interpersonales y construya una matriz relacionándolos.

Comentemos

En grupos de máximo cuatro personas identifiquemos acciones incómodas del contexto en el que está llevando a cabo esta actividad (aula de clase, lugar de trabajo, etc.) y argumentemos por qué razón pueden ser tomadas como acciones reduccionistas que conducen a la deshumanización o a la desnaturalización.

Profundicemos

Es recomendable leer el libro “la pedagogía del oprimido” del autor brasileiro Paulo Freire.

En cuanto a cine, la película X-Men primera generación en una interesante historia en la que la configuración de los villanos proviene en todo sentido del ejercicio reduccionista, que además les deshumanizo, mientras por su parte el héroe trata de librarse de la

discriminación reconociendo que realmente es diferente pero no reduciéndose solamente a esto.

3. El Determinismo

En esta guía estudiaremos sobre el determinismo, el cual es un movimiento que ya ha tenido que ceder en sus pretensiones, debido fundamentalmente a que su arraigo hacia la objetividad ha demostrado necesitar y complementarse con la subjetividad, lo cual en sí mismo hace de la objetividad algo no muy objetivo. Nuevamente sus implicaciones humanas y de estas a su vez en la construcción de estructuras mentales profesionales nos muestran lo importante del equilibrio en las nociones.

Leamos

El determinismo es un movimiento que puede ubicarse en el contexto de ese concepto filosófico y sociológico que denominamos *La Modernidad*, en el cual se imponía la razón como norma trascendental a la sociedad.

Sus aportes desde el punto de vista científico y tecnológico, han llevado a la especie humana al tope del conocimiento de cientos de los más diversos temas, mejorando con ello los procesos llevados a cabo en muchos ámbitos, como por ejemplo, la medicina y las comunicaciones.

Como nunca antes hoy, y gracias al determinismo, el ser humano está en la capacidad de transformar su entorno y con él todo su sistema cultural. Esto debido fundamentalmente al hecho de estar sumergidos en una sociedad que cada vez más puede ser señalada como una sociedad de conocimiento, en la que la principal herramienta es el aprendizaje.

Aprender es cambiar, porque todo aquel que aprende cambia algo dentro de sí. Su relevancia determina nuestra capacidad creadora y de transformación de nosotros mismos y de nuestro entorno. Es así como podemos encontrar ancianos juveniles, relevantes hasta el último de sus días y jóvenes ancianos, que solo pretenden estorbar todo proceso emergente. Su capacidad de aprendizaje le determina su capacidad de transformación.

Pero este pretender ver al mundo y a nosotros mismos en él, desde el punto de vista de la objetividad transformadora, aunque nos permite acercarnos con “veracidad” desde los argumentos a la comprensión de asuntos vitales, ignora a su antagónico la subjetividad.

Desafortunadamente el determinismo en el alcance de sus grandes logros, se ha convertido a su vez en reduccionista, tratando de inducirnos por el camino del rechazo de lo subjetivo, negando la necesidad dialógica de vivir de forma subjetiva/objetiva.

En este sentido, pretendemos invitar al lector a la recuperación de la valía de la subjetividad, sin que con ello pierda valor la objetividad. Para ello, nos valdremos del género musical conocido como salsa. La única razón de esta elección es que Johan Manuel toca en una orquesta de salsa y no deseamos tener discusión con él sobre esto.

En la salsa se hace mucho énfasis en una figura musical conocida como síncopa, la cual es un golpe que no está sobre el tiempo, convirtiéndose así en una de las razones por las cuales tanto tocarlo como bailarlo no es trivial. Ritmos musicales como el merengue marcan muy bien los tiempos y es aquello lo que realizamos cuando lo bailamos. Lo mismo ocurre con el rock o el pop, se marcan sobre el tiempo.

La música, en cualquiera de sus expresiones, tiene un altísimo contenido técnico, fruto de cientos de años de acumulación de conocimiento muy objetivo. Esto nos remite al uso de consonancias, conjunto de sonidos que al reproducirse al tiempo (forma armónica) o en sucesión (forma melódica) se hacen agradables al oído. Y a los sonidos disonantes, que hasta el siglo XIX eran considerados desagradables al oído, pero que con el cambio paradigmático del siglo XX comenzaron a ser usados por su increíble propiedad de generar movimiento. Estos argumentos muestran sin profundidad alguna la base de la teoría armónica que sostiene, como disciplina a la música.

Cuando Johan Manuel inició en la orquesta de salsa, el director lo mandó a estudiar, lo cual le significó una gran molestia pues el ya tocaba piano. Estudio los tumbaos de salsa y volvió, pero el director nuevamente lo devolvió, lo cual le generó tanto malestar que replicó al maestro de la orquesta:

- ¡estos son los acordes y los tumbaos!
- Pero no es salsa –replico el director-
- Entonces, según usted ¿Qué me falta?
- ¡*Feeling*!
- ¿Qué es eso?

Pues eso que le faltaba a Johan Manuel era la parte subjetiva de la salsa, aquello que en conjunto con las nociones objetivas se denomina interpretación musical. El *feeling* no solo traduce sentimiento, en ese sentido es algo más, es como la vivencia de lo profundo del alma. Para adquirirlo Johan Manuel debió aprender a bailar salsa y materializar en su cuerpo el matiz muy profundo de esta.

Esta integración de lo objetivo-subjetivo es lo que hace de la música algo tan inspirador. Los cineastas lo saben, y es por ello que refuerzan la imagen (que por sí misma es vacía) con el sonido. Una película de terror logra su objetivo con los sonidos que de fondo alteran nuestra percepción de la realidad. En el momento en el que el héroe se enfrenta a su antagonico, la música es la que nos lleva a la identificación con él, porque además tiene la propiedad de despertar la subjetividad.

¡Que viva la música!

Observemos

Organicemos grupos de cuatro personas. La actividad consiste en que uno de los integrantes explicará detalles muy específicos de su hobby o actividad laboral mientras los demás escuchan atentamente. Terminada la exposición, los demás integrantes reproducirán en el mayor nivel de detalles lo presentado, hasta que el expositor este completamente acuerdo con lo que sus compañeros de grupo dicen. El ejercicio debe realizarse a partir de la presentación de todos los integrantes del grupo.

El valor del ejercicio está en su capacidad de evidenciar lo objetivo y lo subjetivo como un conjunto indisoluble, ya que cuando el expositor presenta el contenido se activa en su presentación la parte objetiva, mientras que al escuchar lo que sus compañeros reproducen

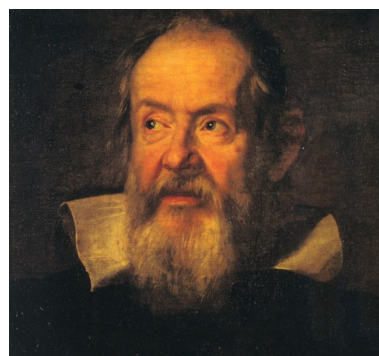
de su ésta se activa la subjetividad, en el sentido de que este buscará sentirlo igual a como lo presentó.

Aprendamos

El determinismo puede ubicarse de forma sencilla con tres autores, aquellos en los que para el efecto de este discurso vale la pena mencionar: Galileo Galilei, Renato Descartes e Isaac Newton.

Galileo Galilei (1564-1642) nos dice que *es posible comprender el libro de la naturaleza a condición de que se utilice el idioma en el que está escrito, y ese idioma es el de las matemáticas* (Ferrara, 2000). Con este argumento, Galileo señala a la matemática como el fundamento de una veraz comprensión de lo fenoménico, de lo que está por fuera de nosotros.

Esta conclusión puede dispersar un poco, e incluso llegar a incomodar a quienes los números han maltratado, pero de cierto tiene lo suficiente como para haber llevado a la matemática a todos los campos del conocimiento. No existe una teoría, ni siquiera una doctrina actualmente, que de alguna manera no haya tratado de extender su comprensión sin matemáticas.



La mayoría de los más grandes argumentos existentes utilizaron de alguna forma a los números para garantizar su veracidad. Incluso, podemos recordarnos en clase, cuando éramos niños o adolescentes, señalando como al más inteligente a ese cuya habilidad matemática le había llevado a destacarse, no al deportista cuyos goles o canastas le consagraban titular de la selección escolar.

Esto nos conduce, no solo a aceptar el poder de la matemática como ciencia, sino también a aceptar el poder que posee en lo cultural.

La afirmación de Galileo condujo irremediablemente a **Isaac Newton** (1642-1727) a la comprensión del *evangelio escondido*. Isaac Newton fue uno de esos hombres



profundamente devoto, su vocación lo condujo a ser uno de los grandes teólogos de su época. En ese explorar a Dios entendió que no podía basarse en lo escaso de la comprensión ofrecida por la iglesia, y sin ser rebelde a ella, se dedicó a comprender los libros de Apocalipsis y de Daniel. Hay algunos que comentan que sus hallazgos en el campo de la teología, incluso llegaron a ser más grandes que los alcanzados por él mismo en matemáticas y física.

En ese sentido, se tomó muy en serio a Dios y pretendió entenderle desde su creación, desde el *evangelio escondido* en la naturaleza. Para leerlo fundó el cálculo y junto a éste las leyes físicas que hoy llevan su nombre, incluyendo la ley de gravitación universal.

Gracias a Galileo Galilei y a Isaac Newton, el mundo se convirtió de esta forma en objeto cognoscible de conocimiento, la naturaleza se puede comprender de forma objetiva y esto a su vez implica que la naturaleza se puede domesticar.

Renato Descartes (1596-1650), por su parte, nos aporta el método científico y la constitución autónoma del sujeto.

El método científico busca garantizar algo importante: que los resultados obtenidos por dos investigadores distintos en tiempos y lugares distintos, lleven a las mismas conclusiones, con lo que queda establecida la noción de un tiempo y espacio absolutos. Claro, no podemos pretender que algo sea verdad aquí y ahora y esta verdad cambie al ser evaluado por otro observador. Luego el método para la investigación científica tenía que ser uno capaz de ser libre del observador. Para esto el observador debía entregar resultados verificables, comprobables y demostrables, para cualquiera de sus pares en la comunidad científica. Esto implica sacar al observador de lo observado.

Pero también implica que el observador esté en la capacidad de hilar delgado, es decir de analizar, lo cual significa separar lo que de forma natural está junto, conduciendo al conocimiento. Pero también significa que el observador esté en la capacidad de recomponer, es decir, de sintetizar, lo cual significa unir para alcanzar la comprensión. De esta forma vemos que el análisis favorece la construcción de conocimiento, mientras que la síntesis provoca la comprensión¹⁵. Desafortunadamente el método científico se quedó exclusivamente en el análisis, desguzando de este modo lo que no es posible entender por partes y limitando así nuestra comprensión.

Por otro lado, Descartes invita a sus estudiantes a preocuparse por encontrar una verdad indudable, partiendo de la gran posibilidad de error de las apreciaciones que a partir de la percepción sensorial se pueden obtener. ¿Cómo podemos estar seguros de la existencia de algo fuera de nosotros si lo percibimos por medio de los sentidos?

Es fácil mostrar que podemos engañar nuestros sentidos. Un mago engaña la vista, en los sueños creemos palpar y no lo estamos haciendo, tapar la nariz y masticar una manzana o una cebolla blanca no hace gran diferencia. De hecho, creemos oír pero ¿qué es el sonido?, creemos ver colores pero, ¿qué son los colores? La seguridad de algo haya afuera de nosotros, por lo tanto, no puede venir de lo sensorial.

Descartes prosigue entonces usando la técnica de la duda metódica, es decir, usando como método de conocimiento a la duda, dudando de todo hasta no encontrar algo de lo que pueda dudar. Encerrado por no encontrar una prueba de su existencia, descubre que solo hay algo de lo que no puede dudar: está dudando. Esto garantiza la existencia de al menos dos cosas, su pensamiento, por medio del cual duda, y un Dios que le creo, pues no recuerda haberse hecho a sí mismo, llegando de este modo a su célebre afirmación “pienso, luego existo”.



¹⁵ O'Connor, J. y McDermott, I. (1998). Introducción al pensamiento sistémico, recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas. Editorial Urano: Barcelona. Pág. 35.

Este gran salto dado por Descartes es conocido como la *constitución autónoma del sujeto*. El hombre a partir de ese momento podía constituirse sujeto objetivo de conocimiento sin la necesidad de un Dios, sin necesidad de la acción divina, que no negaba.

Con el establecimiento de un mundo objetivo factible de ser conocido por medio de las leyes de su comportamiento, las cuales se establecen de forma matemática, y un sujeto capaz de conocerlo todo por medio de su actividad racional, es posible pasar al hombre y a su entorno al orden objetivo.

El más claro ejemplo de los efectos que producirían en la comunidad científica el determinismo que impero hasta inicios del siglo XX, es el de Pierre Simon de Laplace (1749-1827) quien afirmó que si se pudiera contar con las condiciones iniciales del universo como un único sistema y con la capacidad de cálculo suficiente para procesar toda esta información, sería posible conocerlo todo, es decir, podría ser Dios.



Las ciencias conocidas como humanísticas tratarían entonces de formar parte de ese conjunto de cosas saturadas de subjetividad, de relatividad, de error, de ilusión en sus construcciones y, por lo tanto, tendrían que pasar al segundo plano.

Hasta aquí podríamos llegar a pensar lo importante de la objetividad y lo peligroso de la subjetividad. El mismo Galileo Galilei lo padeció frente a la inquisición al tener que leer el siguiente texto que le fuera dictado por sus inquisidores¹⁶:

Yo Galileo, hijo del finado Vicencio Galilei, florentino, de setenta años de edad, habiendo comparecido personalmente ante este tribunal y arrodillado ante vos, los Reverendísimos Señores Cardenales Inquisidores Generales, con todo mi corazón y fe sincera abjuro, maldigo y detesto los predichos errores y herejías y en general todo otro error, herejía y secta contrarios en modo alguno a la Santa Iglesia y juro que en adelante no diré ni aseguraré verbalmente o por escrito la dicha falsa doctrina.

¹⁶ Texto extraído de La Vanguardia no. 149, noviembre 1992, Uruguay.

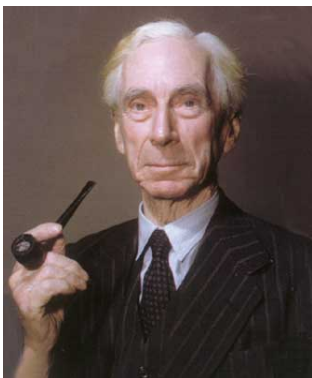
Viendo su juramento, es notorio que la iglesia no entendía las dimensiones del descubrimiento de Galilei, pues su abandono fue el de la idea que modernamente ya conocemos como errónea: *el sol no es el centro del universo y se mueve*.

La iglesia de la época no estaba sujeta al método científico, ni pretendía ser objetiva, sin embargo, a ninguno le gustaría formar parte de un juicio en el que siendo inocente se le inculpara bajo argumentos cuya fuente sea la subjetividad y el error.

Así presentadas las cosas, podríamos tener la impresión de haber encontrado un enemigo vital: la subjetividad. Pero es ahora cuando debemos comenzar a hacernos preguntas. ¿La objetividad en verdad puede tanto? Es decir, ¿en realidad las matemáticas son tan exactas y el hombre realmente no necesita de la subjetividad?. Aprovecharemos la oportunidad para añadir otra pregunta ¿El espacio y el tiempo son absolutos?

Al respecto de esto, debemos referirnos al siglo XX como uno de los más prolíficos siglos de la humanidad; sus avances y aportes en todas las áreas de conocimiento nos demostraron las capacidades y cualidades del mundo objetivo que la ciencia construyó. Pero a su vez nos mostró los límites de la objetividad y, además, nos reveló lo importante del ser subjetivo.

Por un lado, el mundo cognoscible sin observador se nos desbarata, ya que como mostró Einstein, dado que el tiempo y el espacio son relativos, no hay lugar para un observador desde ninguna parte, con lo que la objetividad queda severamente cuestionada. Por su parte, en la mecánica cuántica se accede a la comprensión de la inevitable perturbación que



introduce en un sistema quien efectúa las observaciones, al descubrir la necesidad de introducir luz en la observación, imprescindible para ver, lo cual produce modificaciones y distorsiones de lo observado. Esto lo experimentamos incluso de forma personal al cambiar nuestro comportamiento de acuerdo a quien nos observa.

Por su parte, Bertrand Russell desde la matemática, más específicamente la lógica, plantea una paradoja que en su

momento fue un hallazgo revelador: el mundo ya no tenía por qué ser concebido bajo la lógica aristotélica del sí o el no, porque sencillamente existen situaciones para las que no podemos decir sí o no, verdadero o falso.

Su famosa paradoja dice que dado S el conjunto de todos los conjuntos que no se contienen a sí mismos no es posible saber si S pertenece a S , ya que de ser cierto S no pertenecería a S , y considerando lo opuesto, es decir, S no perteneciera a S , al no contenerse llegamos a que S pertenece a S . En ambos casos se ve como la lógica se abre hacia la ambigüedad, lo cual es contrario a la percepción de exactitud que nos heredo el determinismo.

Un ejemplo tomado de Pérez y Castro (2007) nos explica de forma divertida el sentido de esta paradoja; se le denomina la paradoja del Quijote:

Sancho Panza se convierte en gobernador de la ínsula de Barataria, en donde por ley, toda persona que llega a esta ínsula, debe explicar el motivo de su viaje. Si la persona dice la verdad, es puesta en libertad; si la persona miente, deberá ser colgada. Una persona llega a Barataria y afirma -estoy aquí para que me cuelguen-.

¿Sera o no colgada esta persona? No se puede tomar una decisión, ya que si la frase es falsa, entonces debe ser colgada por falsa, lo cual implica que la frase es cierta. Por otra parte, si la frase es cierta entonces deberá ser colgado, pero esto solo sucede si la frase es falsa, lo cual es una contradicción.

Esto nos lleva a visualizar de forma más sensata los alcances de la matemática, de la racionalidad, del método científico y en general de lo que hemos denominado la objetividad, como paradigma del determinismo. Pero también nos llama a darle su valioso lugar a la subjetividad.

Un síndrome que padecen muchos doctores (phD.) recién graduados es el de pretender que en el mundo científico solo tiene sentido estudiar lo que a él le condujo al grado. Aún en estos casos, vemos que incluso en aquellos a los que les desborda el método científico y todas sus implicaciones objetivas, existe mucho de subjetividad, pues ser objetivo no significa dejar de ser humano y lo más hermoso de ser humano radica en la subjetividad.

Redondo (2008), al respecto escribe:

La subjetividad se relaciona a nuestra tendencia hacia el símbolo, el mito y la magia. Es parte de nosotros y debe convivir en equilibrio con nuestra objetividad, como lo muestra Morin cuando escribe que *tenemos una imperiosa necesidad de la corrección objetiva (empírica/lógica racional) sobre todas nuestras actividades mentales, pero también tenemos una necesidad vital de materia subjetiva (imaginaria/simbólica) que co-teje nuestra realidad*¹⁷. Ahora, si bien es cierto que la subjetividad tiende a lo simbólico e imaginario, también es cierto que nuestra objetividad tiene la tendencia a destruir la construcción subjetiva.

Al respecto hemos escuchado acerca de una representación muy interesante: un iceberg nos permite ver fácilmente su cúspide, pero bajo el nivel mar, su estructura es más grande de lo que usualmente imaginamos y le sostiene. Haciendo analogía, este fragmento del iceberg que podemos visualizar representa nuestro ser objetivo, aquello que fácilmente vemos y podemos explicar. Lo que está bajo el nivel del mar representa nuestro ser subjetivo y aunque es lo más grande de cada cual, es difuso y extraño, nos sustenta y le ignoramos, además le desconocemos.



Es al ser subjetivo al que apela el cine, escarbando dentro de nosotros hasta encontrar puntos disconexos, que de forma “mágica” logra unir, llevándonos a experimentar sensaciones interesantes que hasta podíamos desconocer de nosotros mismos.

Como conclusión, no podemos dejar de lado al ser subjetivo, porque somos nosotros mismos; pero tampoco podemos pretender dejar de lado al ser objetivo, porque es el que

¹⁷ Morin E. (2002). El Método, El Conocimiento del Conocimiento. Madrid. Editorial Cátedra. pág. 191.

nos explica, el que nos dirige hacia la comprensión, hacia el conocimiento, y recordemos: solo amamos lo que conocemos.

Evaluemos

1. ¿Cómo es posible engañar los sentidos?
2. En qué consiste la constitución autónoma del sujeto.
3. ¿Qué significa ser objetivo? ¿Qué significa ser subjetivo?

Actuemos

Describa en su proyecto personal cuales son los elementos objetivos y cuales los subjetivos. Determine si está empleando el suficiente rigor en los elementos objetivos y ¿por qué? Determine también si los elementos subjetivos tienen algún vínculo con situaciones familiares en distintas épocas de su vida y coméntelos por escrito.

Comentemos

En grupos de máximo cuatro personas identifiquemos acciones incómodas del contexto en el que está llevando a cabo esta actividad (aula de clase, lugar de trabajo, etc.) y argumentemos por qué razón pueden ser tomadas como acciones reduccionistas que conducen a la deshumanización o a la desnaturalización.

Profundicemos

El documento clave para este capítulo es “Estructuras de las revoluciones científicas” de Thomas Kuhn.

En cuanto a cine, la película “Eterno resplandor de una mente sin recuerdo” protagonizada por Jim Carrey, nos muestra el poder de la subjetividad en procesos tan fuertes como los que se dan en las relaciones de pareja.

4. El Paradigma de la Complejidad

Es difícil introducir este paradigma, fundamentalmente porque cualquier referencia que se hace de él tiene la facilidad de caer en reduccionismo, con lo cual se puede producir un imaginario equivocado de este tema.

Sin embargo, en esta guía, a riesgo de equivocarnos, hacemos una muy breve introducción de esta teoría, realizando comentarios que principalmente pretenden atacar los imaginarios que se puedan haber producido al respecto de esta teoría.

Leamos

El pensamiento complejo existe desde hace mucho tiempo, no como una ciencia sino como la expresión natural de la existencia. En la antigüedad los grandes referentes intelectuales no concebían un mundo disconexo, un mundo en el que las ciencias aisladas permitieran la comprensión de la naturaleza de la vida, porque la naturaleza de la vida pertenece al conjunto de todas las ciencias, no de forma aditiva sino sinérgica¹⁸.

Esto lo entendían grandes como Eratóstenes quien dirigía la afamada biblioteca de Alejandría, a quien hoy en día reconocemos como matemático, astrónomo, filósofo, poeta, e incluso hay quienes dicen que era músico y que practicaba exitosamente el pentatlón.

Después de Cristo tenemos como referente máximo al incomparable Leonardo Da Vinci, a quien se le atribuyen adelantos en muchas áreas de las ciencias y las artes, inclusive se le imputa la creación de los diseños estéticos con los que se debe servir un plato de comida.

La idea de mencionar a los personajes anteriores no es decir que el pensamiento complejo sea aquella estructura mental que cultiva y promueve el saber enciclopédico, una especie de cabeza repleta, lo cual sería completamente inconveniente y lejano a las pretensiones de

¹⁸ Cuando hablamos de sinergia nos referimos a la suma de partes que es distinto al todo, por eso mencionamos también la aditividad, porque en esta última si obtenemos como resultado el todo. En este concepto profundizaremos un poco más adelante.

esta teoría. Lo interesante de los personajes anteriores estaba en su capacidad de vincular saberes, de olvidar los falsos límites disciplinares y perseguir, incluso como estilo de vida, “el tratar de entender bien”.

Esto no significa tampoco que una estructura de pensamiento complejo sea una estructura de pensamiento interdisciplinar, expresión última que no posee sentido, pues la interdisciplinariedad no es otra cosa que la metodología del que aborda problemas complejos¹⁹ y por lo tanto, debe formar parte de la estructura de pensamiento complejo.

Años después a Da Vinci, en el siglo XVII, tenemos a Blaise Pascal enunciando una de las más mencionadas frases del discurso de la complejidad: *siendo todas las cosas causadas y causantes, ayudadas y ayudantes, mediatas e inmediatas y todas sostenidas por una unión natural e insensible que liga las más alejadas y las más diferentes, creo imposible conocer las partes sin conocer el todo, así como conocer el todo sin conocer particularmente las partes*²⁰. Esta expresión nos da otro elemento para hablar de una estructura de pensamiento complejo y es la concepción de sistema.

Pero, ¿de qué trata la complejidad? o, ¿qué es la complejidad? Pues bien, llegar a una definición de lo que es la complejidad es caer en un reduccionismo que solo podrá llevarnos a un equivocado imaginario sobre la complejidad (note que hemos dicho equivocado, no que sea bueno o que sea malo). Así que empezaremos por decir lo que no es. La complejidad no es una religión adoctrinante en pro de la ridiculización de todo lo demás. Es decir, no se trata de llegar temprano, de vestirse "bien"²¹, de tomarse la sopa, de regalar una moneda, de ser bueno²² o de ser malo²³.

Entonces, ¿que podremos decir de la complejidad? podremos decir lo que busca. La teoría de *la complejidad busca comprender la vida tal y como es* (por ejemplo la teoría de la matemática aplicada conocida como sistemas dinámicos), *y tal y como podría ser* (por

¹⁹ Vea a Rolando García (2000) para profundizar en esta cuestión.

²⁰ Pascal, Blaise (2008). *Pensees Et Opuscules*, Digibook.

²¹ Pero, ¿Qué es vestirse bien?

²² Pero, ¿Qué es ser bueno?

²³ Pero, ¿Qué es ser malo?

ejemplo la inteligencia artificial, los proyectos de vida extraterrestre y los proyectos asociados con el genoma humano)²⁴. Es decir, la complejidad como teoría es una invitación a comprender, a entender bien antes de emitir un juicio, antes de afirmar, antes de negar, antes de validar o de invalidar, antes de salvar o de asesinar. De eso se trata.

Tomemos como ejemplo una relación de pareja en la que uno de los amantes pierde los estribos continuamente a causa de los celos. Lo elegante de los celos es invitar a tomar decisiones desbordantes a partir de meros imaginarios. Estos últimos inutilizan el raciocinio, encerrando a la mente en una prisión en la que solo existen las indignantes acciones del otro. La mente se encasilla entonces en creer apasionadamente en el reducido mundo que le propone el imaginario y, por lo tanto, deshumaniza a su pareja. Es decir, nuestro personaje se ha cerrado a la concepción compleja tomando sus decisiones sin ni siquiera tratar de comprender antes.

No podemos decir que la complejidad sea la búsqueda de *la verdad*, porque en la complejidad se entiende que existan múltiples verdades. Tampoco es solo filosofía porque requiere de todas las ciencias; no jerarquizadas; más bien organizadas.

Nuestro trabajo presenta la teoría de la complejidad como una herramienta que invita a la comprensión y que permite tomar mejores decisiones y diseñar mejores estrategias a la hora de resolver problemas, no solo para la empresa, también para todo el entramado de la vida.

Para lograrlo es necesario desarrollar esa primera facultad del que desea hacer complejidad que es tener un *Pensamiento relacional*. Este tipo de pensamiento pretende buscar *la pauta que conecta* en el cuerpo de elementos de cualquier tipo de sistema. Este tipo de pensamiento es el que nos permite ver los sistemas, sus acciones, sus retroacciones. Es a partir de este tipo de pensamiento que podremos establecer el intrincado entramado de la vida, y en su desarrollo, serán mayores los descubrimientos que de ella hagamos.

Este pensamiento relacional nos permite ver un sistema dinámico en la música (estructura algebraica actuando sobre un conjunto de elementos), nos muestra una analogía entre lo

²⁴ Maldonado (2000).

más pequeño y lo más grande (átomo y universo), nos revela un espacio en donde no hay lugar (la noósfera: el espacio de las ideas), nos revela un ser humano detrás del que maltrata, y muchas otras cosas que podrían permitirnos enfrentar la vida con una multivisión lejana de dogmas petulantes.

Observemos

1. Están sus decisiones en el marco de la comprensión o en el marco del impulso. ¿Por qué?
2. Muchos hablan de la creatividad y de la innovación. ¿Encuentra usted alguna diferencia entre estos dos conceptos? Habiéndolos diferenciado ¿cree usted que sea posible concebir creativamente o innovadoramente sin primeramente haber desarrollado un ejercicio de comprensión basado en la investigación?
3. ¿Cuál es la pauta que conecta al medio ambiente y a la empresa?

Aprendamos

Entrado el siglo XX, la ciencia debió comenzar a enfrentarse con problemas que cada vez más debían dar respuesta a problemas dotados de incertidumbre, de sorpresa, de situaciones inesperadas, de fenómenos que se retroalimentaban, de conflictos en la organización.

Situaciones como las relacionadas con la bolsa de valores, con el clima, con las guerras, etc., han venido revelando de forma cada vez más urgente la necesidad de un nuevo paradigma científico y cultural. Las herramientas de pronóstico de estos fenómenos son cada vez más novedosas, apuntando en sus modelos a la inclusión de incertidumbres y de retroalimentaciones que les permitan hacer pronósticos *Prospectivos*.

Los métodos de pronóstico basados en *la Retrospectiva*, es decir, en la revisión de lo ocurrido para conocer lo que ocurrirá, no daba certeza alguna de problemas nuevos no enfrentados que aparecían y que requerían de otro tipo de visión: *la Prospectiva*, la cual se basa en mirar hacia adelante previendo lo que pueda ocurrir, aún cuando nunca antes haya

ocurrido. En las ciencias que hicieron frente a estas dificultades nació la actual teoría de la complejidad.

Según Morin²⁵, tres teorías abren esta ruta: *la teoría Informática*, que es una herramienta que permite tratar la incertidumbre, la sorpresa, lo inesperado; *la teoría Cibernética*, que es una teoría de las máquinas autónomas que contiene implícita la idea de retroacción; y *la teoría de sistemas*, que sienta las bases de un pensamiento de la organización.

Según comenta el mismo autor, a estas tres teorías debemos añadir los desarrollos conceptuales logrados a partir de la idea de autoorganización llevadas a cabo por cuatro importantes autores: *Von Neumann*, que en su teoría de los autómatas organizadores se plantea el problema de las máquinas artificiales y las máquinas vivas; *Von Foerster*, cuyo aporte reside en el descubrimiento del orden a partir del ruido, es decir, la creación de un orden a partir del desorden; *Atlan*, quien concibe la teoría del azar organizador en el que se encuentra la dialógica orden/desorden/organización; y *Prigogine*, que introdujo, de otra manera, la idea de organización desde el desorden, lo cual condujo a la idea de auto-eco-organización.

Tales descubrimientos solo develan la naturaleza de la naturaleza y de ella en nuestro medio ambiente, incierta (aún cuando regida a reglas), autoorganizada a partir de un desorden organizador, pues crea a la temperatura de su destrucción (Morin, 1999) y otras características que para su comprensión invitan al rechazo de un pensamiento simplificador.

La complejidad, de este modo, comenzó a constituirse en un cuerpo de investigadores provenientes de las más diversas disciplinas, con lo que, para dar un vistazo, se hace necesario algún tipo de taxonomía de la misma. Al respecto, Rescher (1998) y Maldonado (2000) sugieren que la complejidad tiene diferentes modos, como lo son: el modo epistémico y el modo ontológico.

²⁵ Tomado de la traducción al español elaborada por Sergio González de una presentación de Edgar Morin en la revista *Passages*. París, Diciembre, 1991.

El ***modo epistémico*** nos habla de una complejidad en la formulación y se subdivide como a continuación:

- *Complejidad descriptiva*: longitud de la información que debe darse para suministrar una descripción adecuada de un sistema.

En este sentido, y tomando como ejemplo lo ambiental, decimos que el medio ambiente no puede ser descuartizado cuando de dar algún juicio se trata. Nuestras descripciones acerca de él terminan siendo simples aproximaciones que ocultan sus dinámicas y que, por lo tanto, se nos traducen en incertidumbre, precisamente porque es complejo, lo que desde el punto de vista descriptivo significa que debe darse una gran longitud de información para realizar una descripción adecuada de este.

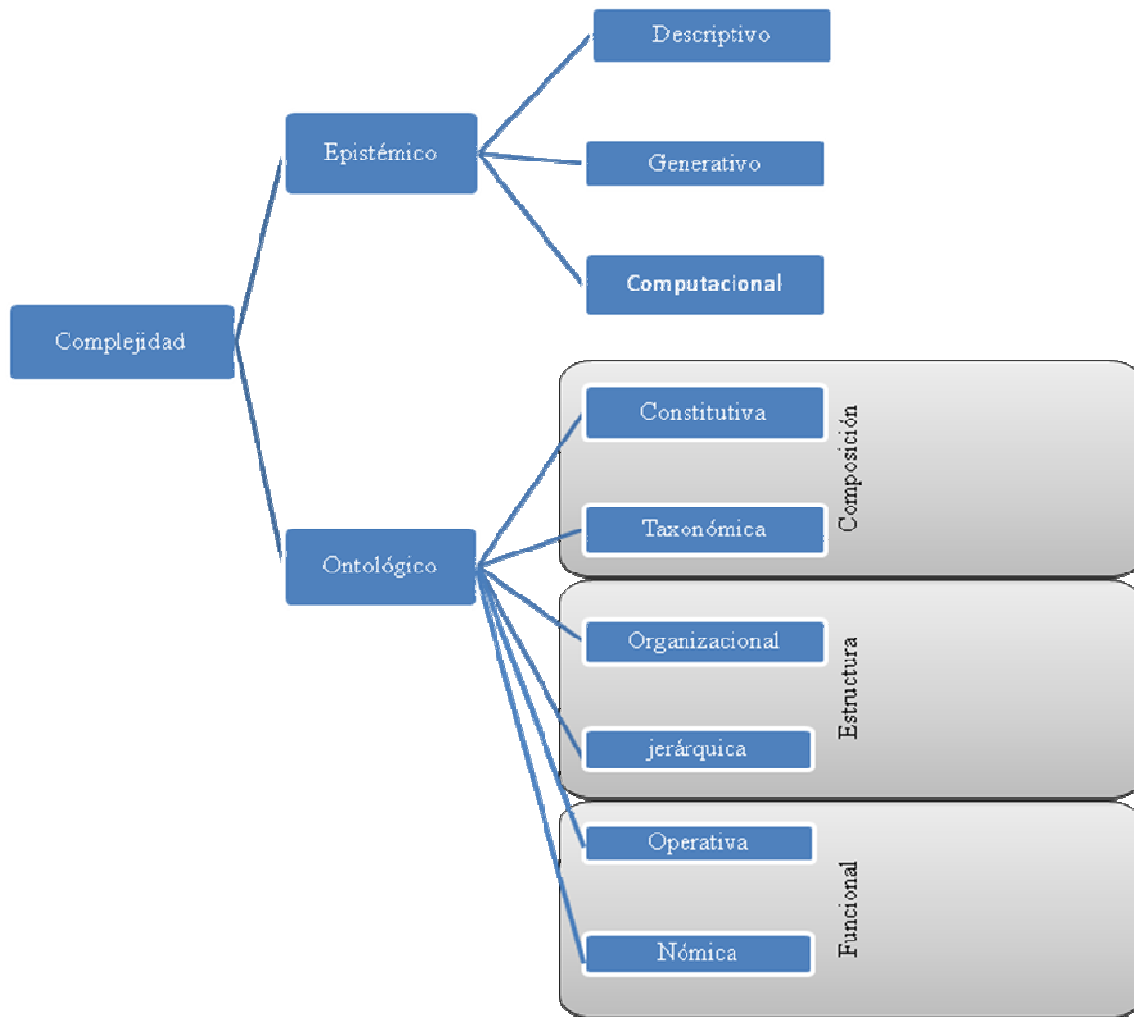
- *Complejidad generativa*: longitud del conjunto de instrucciones que se deben dar para suministrar una receta que produzca un sistema.

En este sentido, el medio ambiente también es complejo, ya que las recetas de lo vivo a partir de lo inorgánico, por ejemplo, aún nos son esquivas. Y no podemos, sencillamente, tomar un ecosistema, acabarlo, y después suponer con una ley o un programa de recuperación que podemos generar nuevamente lo que ya ha sido transformado.

- *Complejidad computacional*: cantidad de tiempo y esfuerzo implicado en la resolución de un problema.

El ***modo ontológico***, por su lado, se refiere a la complejidad de la composición, de la estructura y de la función. En cuanto a la composición tenemos:

- *Complejidad constitutiva*: número de elementos constitutivos o de componentes de un sistema o estructura.



Aquí nuevamente podemos hablar de complejidad ambiental, en el sentido de que por el mismo hecho de que no es posible descuartizar el medio ambiente para conocerlo, tampoco es posible negar la existencia de muchos de sus elementos.

- *Complejidad taxonómica (heterogeneidad)*: variedad de elementos constitutivos, número de diferentes especies de componentes en sus configuraciones físicas.

En este enfoque de lo ambiental podemos decir muchas cosas, dado que lo ambiental siempre es, y deberá seguir siendo, sinónimo de diversidad.

Desde el punto de vista estructural tenemos:

- *Complejidad organizacional*: variedad de diferentes modos posibles de ordenar componentes en modos diferentes de interrelación.

Lo cual se ha visto, por ejemplo, en diferentes ecosistemas, en los que el protagonismo de alguna especie depende del tipo de lugar y de individuos allí ubicados.

- *Complejidad jerárquica*: El grado de elaboración de las relaciones de subordinación en los modos de inclusión y subsunción. Desagregación organizacional en subsistemas. Las unidades de orden superior son siempre más complejas que las unidades inferiores.

Como veremos más adelante, la identificación de un sistema es, en realidad, la identificación de un subsistema, pues siempre existirá uno más grande que le contenga. Esto genera una complejidad relacionada con lo jerárquico.

Y finalmente, la complejidad funcional que nos presenta:

- *Complejidad operativa*: variedad de modos de operación o tipos de funcionamiento.
- *Complejidad nómica*: grado de elaboración e intrincación de las leyes que gobiernan el fenómeno del caso.

Estos modos de la complejidad, a su vez, desencadenaron en la generación de nuevas ciencias que permitieran el tratamiento de lo complejo, entre las que se puede destacar la complejidad informacional algorítmica o *complejidad de Kolmogorov* y que se refiere a la complejidad computacional; los sistemas dinámicos que son una de las ramas de la matemática asociada a la complejidad y que han trabajado personajes como *Prigogine* [19] en sus trabajos de sistemas complejos y *Bertalanffy* [18] en la formulación de la teoría general de los sistemas; la dinámica de sistemas que constituye una gran herramienta para la comprensión de los sistemas y que procede de la ingeniería, las redes complejas, altamente desarrollados en centros como el Instituto Santafé (Estado de Nuevo México, USA), creado para el estudio de fenómenos complejos; etc.

En este trabajo diremos que la complejidad es una relación binaria entre dos interpretaciones distintas de un mismo sistema. Tal relación dependerá (O'Connor y McDermott, 1998):

- Del número de atributos del sistema (las partes del todo) a lo que llamaremos ***complejidad de detalle***, y/o
- De las relaciones que se establecen entre ellos, que generan la estructura y la idea de estar “juntos”, a lo que llamaremos ***complejidad dinámica***.

Las sinergias que ese estar “juntos” produce, las retroacciones que nos conducen a la idea de una causa que es efecto y un efecto que es causa, la autoproducción y autoorganización que la iteración de la ley de evolución del sistema genera (recursividad) y, finalmente, la complementariedad que se establece entre los atributos antagónicos del sistema estableciendo un equilibrio dinámico en el sistema (dialógica), son conceptos asociados que estudiaremos.

Pero ¿qué define esta complejidad? Solé (2009) nos habla de dos aspectos importantes que de forma muy general pueden contestar a esta pregunta. De un lado, el poder creativo de las interacciones, que da lugar a la *presencia de propiedades emergentes, que no pueden explicarse acudiendo a las propiedades de los componentes*. De otro lado, *la existencia de cierta invariancia del todo pese a los cambios y fluctuaciones en las partes*²⁶.

Otra pregunta sería ¿cuándo existe complejidad? Morin (2001) dice que *existe complejidad cuando no se pueden separar los componentes diferentes que constituyen un todo y cuando existe un tejido interdependiente, interactivo e interretroactivo entre las partes y el todo, el todo y las partes*²⁷.

²⁶ Solé, Ricard (2009). Rede Complejas. Metatemas Tusquets Editores: Barcelona. Pág. 20.

²⁷ Morin, Edgar (2001). La Cabeza Bien Puesta, Repensar la reforma, reformar el pensamiento, Bases para una reforma educativa, Editorial Nueva Visión: Buenos Aires. Pág. 8.

Evaluemos

1. En sus palabras explique de que trata la complejidad.
2. De acuerdo a la lectura, cuáles cree deben ser los principios generadores de una estructura de pensamiento complejo.
3. Construya una matriz en la que establezca un conjunto de diferenciadores entre los paradigmas del pensamiento simplificador y de la complejidad.
4. Elabore un glosario que incluya los siguientes términos:
 - a. Incertidumbre
 - b. Retroacción
 - c. Sinergia (Emergencias y Constreñimientos)
 - d. Autoorganización
 - e. Hologramático
 - f. Recursión

Actuemos

1. Considera que en su proyecto personal, aumentar la complejidad de detalle haría más sencillo o más complicada la realización de su proyecto. Explique.
2. Considera que en su proyecto personal, aumentar la complejidad dinámica facilitaría la realización de su proyecto. Explique.
3. Identifique en su proyecto personal las personas o actividades que podrían generar sinergias, señalando cuales son importantes para el cumplimiento del objetivo de su proyecto y cuales obstaculizan tal realización.

Comentemos

1. Discuta en clase si se dejaría operar por un cirujano experto e infalible que nunca pasó por la universidad.
2. Discuta en clase sobre la aparente seguridad que nos ofrecen los títulos, un buen empleo y el dinero, en el no esperado caso de que ocurriera un terremoto como el de Haití.
3. De acuerdo a la comprensión que de la complejidad va adquiriendo y en grupos de cuatro personas, construya una matriz en la que establezca las ventajas y desventajas de la complejidad en diferentes contextos (familia, empresa, universidad, etc.)

Profundicemos

Existe mucha literatura que valdría la pena leer con respecto al tema de este capítulo. Libros como “Redes Complejas” de Ricard Solé dan una muy buena introducción. Otros libros de iniciación son “La Cabeza Bien Puesta” y “El paradigma Perdido” de Edgar Morin. La “Teoría General de Sistemas” de Ludwig Von Bertalanffy es muy interesante pero requiere de conocimientos previos de matemáticas. El libro “Espejo y Reflejo” de John Briggs y David Peat muestra de forma muy bonita el tema de los sistemas dinámicos permitiéndole al lector la circunscripción de este tema en el de la complejidad. Lo muy interesante sería leer de estos al menos uno.

Desde el punto de vista del cine la película “Avatar” de James Cameron muestra claramente los conceptos de la complejidad. Su análisis conduce a la comprensión de elementos muy importantes de este discurso.

5. Metacognición

Una herramienta básica en el manejo del pensamiento complejo se plantea en esta guía, consiste en la importancia de reconocerse a sí mismo, de hacer una introspección reflexiva, de conocer las fortalezas y carencias propias para poder potenciar sus dichas fortalezas y subsanar sus carencias de tal forma que se logre una sana aproximación de un ser integral.

Leamos

El capítulo anterior nos presentó la expresión “trate de entender bien” como uno de los principales pilares que nosotros como autores buscamos inculcar en nuestros lectores. Esta expresión tiene para nosotros un valor inmenso, no solo desde el punto académico sino también afectivo. La primera vez que la escuchamos, la oímos de la misma persona, alguien al que conocen con el sobrenombre de “Pelusa” y quien en sus años de juventud (hace mucho, mucho tiempo) estuvo en un congreso académico en Canadá, donde uno de los más grandes matemáticos de su tiempo le dijo: -trate de entender bien-. Al menos cuarenta años después, Pelusa sigue repitiéndonos la misma expresión, y hemos comenzado a creer que realmente dice algo importante.

En alguna oportunidad, uno de nosotros caminaba por uno de los pasillos de la universidad meditando algún concepto en voz alta, cuando de pronto pasó Pelusa y algo alcanzó a escuchar. Pelusa se detuvo, tentado por el rigor, y se acercó diciendo –no hable por hablar, trate de entender bien-. Lo primero que se viene a la cabeza en un momento así es –que vergonzoso, como es que no he entendido bien-. Y puede uno incluso hasta salirse del tiempo medio de estudio para pretender hacer un esfuerzo²⁸ y leer de nuevo o leer algo adicional y entender mejor. En esta primera vuelta la lección fue estudie más y mejor.

²⁸ Esfuerzo real, pues hemos tenido el esfuerzo de estudiantes que para un parcial de cálculo se preparan dos días antes haciendo el esfuerzo sobrehumano de trabajar dos horas cada día. Ese esfuerzo para un parcial de cualquier asignatura asociada con matemáticas es insuficiente porque esta como tantas otras disciplinas de procedencia pura requieren de un

Pero alguna vez un estudiante, Carlos Bernal, incómodo con el discurso se levantó e hizo el siguiente reclamo:

-tratar de entender es un concepto molesto, es como pedirle a usted que trate de tomar mi mano-

Y entonces, estiró la mano para que alguno de sus compañeros la tomara. El compañero más cercano estiró también su mano para tomarla, pero Carlos la quitó y replicó:

-¡trate!

Quitándola rápidamente para que su compañero no la sujetara. En esta segunda vuelta nos dimos cuenta porque decía tratar, ya que el conocimiento no es algo inmediato y cualquier disciplina, incluso disconexa de las demás, puede tener tanto de ancho como de profundo, luego tratar de entender bien es también un estilo de vida.

Pero aquí no acaba, hace algunos meses en un congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas, al que inusualmente van matemáticos pues es una teoría más de personas de otras disciplinas, se presentó un joven con un trabajo con el que prácticamente demostraba matemáticamente lo mal fundamentada que estaba la teoría anfitriona. Al terminar su exposición levantó la mano uno de los más antiguos expertos de la teoría y pregunto:

- Es decir, ¿aquello a lo que he dedicado toda mi vida es un error?

Ese fue el mejor momento del evento. Algunos matemáticos estábamos ahí comentándonos los errores bajo los cuales había fundado su destrucción de la teoría, y la pregunta del anciano, cargada de mucho doble sentido silencio la sala. Intervenimos preocupados, concluyendo para nosotros que él no había tratado de entender bien. Y a la tercera vuelta descubrimos que a veces creemos haber entendido, pero realmente ¿cómo sabemos que sabemos lo que decimos que sabemos? Ya habíamos dicho que para esto existe la epistemología. Pero lo que no hemos dicho es que de forma individual dos procesos nos

proceso de maduración mental que difícilmente se adquiere con 4 horas de estudio los dos últimos días de clase. El fracaso es inminente, salvo que el estudiante sea un genio.

son muy importantes para garantizar conocimiento. Por un lado está la relación con pares y, por el otro, la metacognición.

En cuanto a pares, debemos decir que estos son grupos de personas que comparten un concepto y pueden evaluarlo. Algunas veces no es muy fácil escucharlos, pues cuando evalúan deben poner en duda lo que uno ha hecho y esto saca de casillas a muchas personas. Sin embargo, su papel es crucial en todos los contextos (familia, empresa, academia, gobierno, etc.). Este “sujetarse a otros” desde el punto de vista de doctrinas es importante, ya que este ejercicio se opone al sectarismo.

En cuanto a metacognición, seguiremos un poco más adelante los conceptos que a su respecto a desarrollado Javier Burón.

Observemos

Explique qué significa la expresión “trate de entender bien”. Haga un sincero esfuerzo contestando, pues en este punto sobran las respuestas superficiales y petulantes.

Aprendamos

El objeto de estudio de la metacognición es el conocimiento de las distintas operaciones mentales y saber cómo, cuándo y para qué debemos usarlas. Note que el término metacognición significa algo así como "más allá del conocimiento", sin embargo, no es el sentido que se pretende. De hecho la palabra "cognición" tiene otras interpretaciones en la literatura psicológica como lo comenta Burón (1998).

Esencialmente la metacognición es el conocimiento y regulación de nuestras propias cogniciones y de nuestros procesos mentales. Sería mejor llamarla "conocimiento autorreflexivo" ya que se trata del conocimiento de la propia mente adquirido por auto observación (Burón, 1988), teniendo precaución, eso sí, de no confundir a las emociones y a los sentimientos con este conocimiento interior.

Brown (1978) definió la metacognición como el conocimiento de nuestras cogniciones, convirtiéndose en una de las más populares definiciones o quizás en la más repetida.

Nosotros en este documento diremos que la metacognición es el conocimiento de las cogniciones, donde cogniciones significa cualquier operación mental: percepción, atención, memorización, lectura, escritura, comprensión, comunicación, etc.

Dado que nuestro propósito se restringe a lo referente al aprendizaje, particularmente de estructuras de pensamiento complejo, nos hemos centrado en aquellas facetas metacognitivas que nos facilitarán el trabajo. Según explica Burón (1998), estas son:

- *Meta-atención. Es el conocimiento de los procesos implicados en la acción de atender, a que hay que atender, que hay que hacer mentalmente para atender, como se evitan las distracciones, etc. Este conocimiento nos permite generar procesos de autorregulación o mecanismos de control que desencadenaran en el desarrollo de la atención.*

Todos de alguna forma, consciente o inconsciente, hemos realizado ejercicios de meta-atención, como cuando tratamos de leer un libro los fines de semana: alguien corre, otro escucha música, otro ve televisión y nosotros tratamos de leer un libro. Entonces, percibimos consciente o inconscientemente la necesidad de prestar atención, para lo cual tratamos de eliminar los elementos de distracción.

De esto se trata la meta-atención, de reflexionar, de auto observarnos en los momentos en los que de alguna forma requiriendo concentración nos dispersamos.

- *Meta-memoria. Es el conocimiento que tenemos de nuestra memoria, su capacidad, sus limitaciones, que hay que hacer para memorizar y recordar, como se controla el olvido, para que conviene recordar, que factores impiden recordar, en que se diferencia la memoria visual de la auditiva y que hay que hacer para recordar lo que se ve y lo que se oye, etc.*

Es precisamente el conocimiento de la fragilidad de nuestra memoria el que nos conduce a escribir en un papel o a cambiar el anillo de dedo cuando pretendemos recordar. Estos ejercicios, sin embargo, no son meta-memoria, solo son el conocimiento de nuestra incapacidad memorística, pero ¿Tal incapacidad realmente existe? ¿O solamente hemos creído que existe? Muchos hemos descubierto que el número de teléfono de la niña que nos gusta, y que solo mencionó una vez y que no pudimos anotar en ningún lado, nunca se nos olvidó. Luego la pregunta es que sucede realmente en nuestra cabeza cuando memorizamos. No en la cabeza del vecino, sino en la nuestra.

- M
eta-lectura. Es el conocimiento que tenemos sobre la lectura y de las operaciones mentales implicadas en la misma: para qué se lee, qué hay que hacer para leer, qué impide leer bien, qué diferencias hay entre unos textos y otros, etc.

Nuestra experiencia como educadores en matemáticas nos ha mostrado que uno de los muchos problemas que existen en los estudiantes a la hora de realizar ejercicios aplicados se refiere a la falta de interpretación del texto, que a su vez se relaciona con el hecho de que nuestros estudiantes no saben leer, porque leer no es solamente seguir la palabras en el texto.

Leer implica dar valor a los signos de puntuación y, a partir de ello, jugar con los tiempos, para de esta forma, conferirle matices que develan el juego artístico de la lectura, en el cual emerge naturalmente la interpretación y comprensión del mismo (salvo en los casos en los que el glosario del lector es tan reducido que no le permite tener una clara comprensión).

- M
eta-escritura. Es el conjunto de conocimientos que tenemos sobre la escritura y la regulación de las operaciones implicadas en la comunicación escrita. Entre estos conocimientos se incluye saber cuál es la finalidad de escribir, regular la expresión de forma que logre una comunicación adecuada, evaluar cómo y hasta qué punto se consigue el objetivo de comunicar con lo que se escribe, etc.

No es fácil descubrir el valor de la escritura a través de las reglas y los ensayos, pero tampoco es cierto que se pueda comunicar bien un mensaje sin haberlo estudiado, y cuanto más se hace mejor se comunica. Además, no debemos olvidar que la construcción de conocimiento es posible precisamente porque existe la escritura. En ella nos hacemos inmortales.

- M
meta-comprensión. Es el conocimiento de la propia comprensión y de los procesos mentales necesarios para conseguirla: qué es comprender, hasta qué punto comprendemos, qué hay que hacer y cómo para comprender, en que se diferencia comprender de otras actividades (como memorizar, deducir, imaginar), que finalidad tiene el comprender, etc. La meta-comprensión es quizás el aspecto más importante del aprendizaje.

María Teresa nos contó una historia muy simpática sobre una señora que se levantaba todos los días con el sonido de un gallo que muy juiciosamente cantaba todos los días a las 5am desde la casa del vecino. Un día tuvo que irse para otra región donde el sol salía a las 8am y preocupada por el acontecimiento, incoherente en su comprensión, volvió a su región y compró el gallo, para de esta forma garantizar que el sol en este nuevo lugar de asentamiento saliera a las 5am como antes. Este ejemplo no solamente ilustra nuestros problemas de comprensión, sino que también elucida la imposición que de esa incomprensión queremos hacer a los demás.

- *Meta-ignorancia. En la literatura metacognitiva no aparece este término, sin embargo, ceñidos a nuestro referente, Burón (), hemos adicionado también este, que se refiere a la ignorancia de la propia ignorancia. La ignorancia es no saber, la meta-ignorancia es no saber que no se sabe.*

Al respecto de la meta-ignorancia Burón (1998) acota:

Quien sabe que ignora algo está en condiciones de salir de su ignorancia pensando, preguntando o consultando; es consciente

de lo límites de sus conocimientos y pregunta. El que ignora su propia ignorancia, por el contrario, ni siquiera sospecha que debe hacer algo para salir de su situación; el meta-ignorante no duda, por eso no pregunta y aprende poco.

Podríamos decir que la meta-ignorancia es una faceta de la meta-comprensión, porque esta es la que nos hace tomar consciencia de lo que comprendemos y también de los límites de nuestro entendimiento. Desconocer esos límites es incurrir en la meta-ignorancia.

Evaluemos

Construya una matriz en la que se crucen sus debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (DOFA) con su auto reflexión sobre su meta-atención, meta-memoria, meta-lectura, meta-escritura, meta-comprensión y meta-ignorancia. Se debe escribir al final de la actividad una conclusión de cómo es su proceso cognitivo.

Actuemos

Construya una matriz en la que muestre como el desarrollo de su proyecto personal contribuye en el desarrollo de su metacognición, desglosando a esta última como meta-lectura, meta-escritura, etc.

Si no lo había considerado, muestre en otra columna de la matriz la forma como su proyecto le ayudará a hacerlo. Sea específico y no deje ninguna casilla desocupada.

Comentemos

1. En la crianza de un hijo se afirma que papá y mamá son pares entre sí, por lo que la crianza de niños por parte de padres del mismo género puede ser inconveniente. Discuta en grupo esta cuestión.
2. En mesa redonda hagamos una discusión alrededor de cada uno de los elementos de la metacognición en la que presentemos los resultados individuales de la matriz DOFA y grupalmente propongamos soluciones a los problemas más comunes que se planteen en el grupo.

Profundicemos

El libro de Javier Burón “Enseñar a Aprender: Introducción a la metacognición” actuó como eje central de este capítulo, por lo que, en el ánimo de profundizar, debe estar este libro.

6. Categorías

Otra herramienta es la búsqueda de hilos conductores para el logro de un pensamiento relacional, estos hilos conductores se identifican por las categorías del espacio, el tiempo, la materia, la energía y la diversidad, reconocer y aplicar dichas categorías desempeña un papel importante en el estudio de los sistemas complejos.

Leamos

El termino Categoría es una de esas palabras que aparece desde hace muchos años, tomando los más diversos significados de acuerdo a los contextos y las épocas. En los escritos de Esquilo ya se encontraba, allá por el 500 AC, y actualmente sigue siendo vigente.

Este vocablo ha evolucionado de tal manera que no podemos decir que exista un significado de *Categoría* que sea el "significado" de esta. Se emplea en diversos campos de la actividad humana. En cada uno con distintos sentidos.

Aquí no trataremos a las Categorías por sí mismas. Más bien pretendemos dejarnos llevar por los argumentos de Ramírez (2008), considerando el desarrollo del pensamiento categorial²⁹ que parte del proceso de aprender y del proceso de enseñar.

Para tener una primera aproximación de la idea de Categorías, según señala Ramírez (2008), debemos señalar la diferencia entre algunos prefijos de nuestra lengua. La partícula "supra" se refiere a que se abarca más que al usar los prefijos "mega" o "macro", por lo tanto, en lugar de decir que las Categorías son megaconceptos o macroconceptos, diremos que deben considerarse que son supraconceptos.

Como nos explica Ramírez (2008), la idea del supraconcepto se puede explicitar siguiendo dos vías.

²⁹ La idea proviene de Toledo y Sosa (El traspaso escolar, 2001), quienes a su vez toman elementos, especialmente de Vygotsky en Pensamiento y lenguaje, así como de Morin, Zemmelman y otros. Vid Ramírez y Sosa, 2006.

En la primera, reconocemos que para explicar un concepto se necesita de otro concepto. Es el círculo vicioso en el que caemos cuando usamos el diccionario. Una palabra se explica con otras palabras, que a su vez requerirán de otras palabras para poder ser explicadas. El bucle se hace infinito. Sin embargo, hay conceptos tan abarcadores que "se explican por sí mismos", sin necesidad de otros; esos son los supraconceptos.

En la segunda vía se invita a pensar en los conceptos como objetos semejantes, porque son conceptos, pero que, sin embargo, se pueden discriminar de forma especial. Tenemos los más específicos, los que son intermedios (que contienen a los que son más específicos) y ahí empiezan a aparecer los conceptos más generales. De esta manera, si pensáramos en una torre, en la que los ladrillos fuesen los conceptos, y colocamos los conceptos por su generalidad -los menos generales en la base-, aquellos que se ubican en lo más alto de la torre serán las Categorías, puesto que de esta forma serán los conceptos supraordinados.

Con esto en mente dirijámonos hacia lo cognitivo. Ramírez (2008) nos dice que pensamos un concepto y lo aprendemos cuando estamos indagando que relaciones hay entre ese concepto y otros, cuando nos dedicamos a establecer conexiones con otros conceptos y estamos en proceso de comprender un concepto cuando nos aplicamos en hallar que conexiones y relaciones tiene con otros conceptos, cuáles son sus resonancias en ellos y sobre las redes que forman.

De esta forma, continúa Ramírez (2008), los conceptos cumplen la función de ojos o de oídos, pues nos permiten ver y escuchar al mundo. También cumplen la función del sistema nervioso: con ellos y a través de ellos pensamos, valoramos y entendemos al mundo. Otras veces, los conceptos son instrumentos con los que investigamos al mundo, lo pensamos, actuamos en él, lo conocemos, lo evaluamos, actuamos sobre él y lo modificamos.

La dinámica de aprender, pensar, comprender y usar los conceptos, nos permite tener una conducta más o menos racional, más o menos razonable, más o menos adecuada, viable o correcta. Al respecto, Ramírez (2008) dice que aprender y pensar las Categorías nos brinda muchas oportunidades. Por ejemplo, la de establecer o encontrar conexiones de un nivel superior entre conceptos y entre redes conceptuales, la oportunidad de acceder a conceptos diferentes así como a otras formas de pensar y entender la realidad. Aprender y pensar las categorías nos permite estructurar nuestra experiencia y ayudar a otros a que la estructuren.

Los conceptos incluyendo en ellos a las Categorías los aprendemos, aunque no todo concepto que hayamos aprendido sea bueno, correcto o adecuado. A veces, para aprender bien un concepto, para entender bien, tenemos que desaprender el concepto que ya teníamos y reaprenderlo. Para aprenderlo tenemos que pensarlo y repensarlo, tratar de comprenderlo, usarlo en diferentes tareas, variando las situaciones, circunstancias y condiciones.

Observemos

Algunas personas tratan de acercarse a la resolución de los más diversos problemas utilizando un conjunto de palabras claves orientadoras, otros en cambio utilizan expresiones y otros utilizan un conjunto de preguntas. Diseñe una metodología con la cual pueda acercarse a la idea de resolución de problemas en general utilizando, por ejemplo, un conjunto de palabras, afirmaciones o preguntas. Si ya conoce alguna coméntela con sus otros compañeros y el orientador de la actividad.

Aprendamos

Para continuar debemos introducir la palabra inter-trans-pluridisciplinar, lo cual significa tres cosas distintas.

La interdisciplinariedad es una invitación al trabajo entre disciplinas, como el que realizamos cuando se construye un plan de manejo ambiental. En este debe reunirse el

trabajo conjunto de ingenieros, administradores y abogados. Sin embargo, la interdisciplinariedad no obliga al dialogo comprensivo entre disciplinas, sencillamente cada cual hace su trabajo y lo entrega de acuerdo a su terreno de conocimiento.

La transdisciplinariedad implica algo más que la interdisciplinariedad. Implica que estas disciplinas, trabajando juntas, además deben entenderse. En el caso de un trabajo en música y matemáticas esto significará que el matemático tendrá que bajarse de su pedestal de conocimiento para tratar de subir al del músico, hasta que alcance la capacidad de entender su discurso. Lo mismo deberá hacer el músico.

La pluridisciplinariedad es una invitación que supone que entre mayor sea el numero de disciplinas, mayor será la diversidad intelectual del trabajo, lo que supone una mayor riqueza cognitiva.

Note, entonces, que nuestro trabajo, al utilizar supraconceptos o Categorías, apunta a la transdisciplinariedad, la cual surge de la necesidad de relacionar y articular campos disociados.

A través de Categorías que sean comunes a diferentes campos de conocimiento, logramos la comunicación y coherencia entre ellos sin que pierdan su coherencia interna. Así, es como logramos en el pensamiento complejo que se den articulaciones de unos campos con otros, de manera que emergen nuevos objetos de conocimiento y formas inéditas de intervención.

Pero, por otro lado, al proponer trabajo desde la transdisciplinariedad buscamos el desarrollo de esquemas cognitivos del más alto nivel que estén presentes en todos los conceptos de un campo del saber (los conceptos fundamentales, los subsidiarios, e incluso en los conceptos más específicos). A estos esquemas cognitivos del más alto nivel los hemos llamado Categorías.

Se ve entonces, cómo en un sentido o en el otro, existe una estrecha relación entre lo transdisciplinar y las Categorías.

Para Zemelman (1987) las Categorías deben ser cinco: Espacio, Tiempo, Materia, Energía y Diversidad. Estas satisfacen lo planteado por Morin (1998), ya que es posible establecer relaciones solidarias entre conceptos agrupados en torno a cada una de estas Categorías zemelmianas.

Veamos, por ejemplo, la Categoría Espacio, que forma parte, además, del pensamiento científico contemporáneo occidental y que desde Kant hasta Piaget se ha reconocido como estructuradora del pensamiento, fundamental y fundamentadora, junto con el Tiempo.

El Espacio es una Categoría, por ser un supraconcepto, que incluye una red o constelación de conceptos en solidaridad, formulados desde las diferentes disciplinas (Ramírez, 2008). Por ejemplo, en matemáticas un espacio es un conjunto dotado de alguna propiedad. Para la física el espacio es una relación tridimensional en nuestro Universo, que puede ser representada y simbolizada en el lenguaje matemático. Pero también desde la geografía, el espacio es un lugar que se define por sus características de ubicación en nuestro planeta y universo. Desde la biología, un espacio es un determinado marco o contexto en donde acontecen múltiples relaciones entre seres vivos y no vivos. Desde la psicología, un espacio es el propio cuerpo humano y la constitución de referentes de ubicación y acción. Este listado nos muestra la diversidad de conceptos de espacio que dan lugar a la Categoría de Espacio Ramírez (2008).

Ahora que si recuperamos el planteamiento desde Zemelman (1987), para que una Categoría opere como tal, es necesario que pueda vaciarse de un contenido particular de un concepto desde una disciplina o enfoque, y pueda ser sustituido por otro contenido de otra disciplina y otra u otras.

Por lo anterior, para operar metodológicamente el enfoque de Zemelman y poder acceder a una argumentación, es necesario poder vaciar de contenido una Categoría y dar diversos contenidos conceptuales a ella, para que podamos construir una mirada que nos permita

reconocer una problemática desde diversos ángulos, de manera tal que nos aproxime al entendimiento de la complejidad del fenómeno y que nos permita alejarnos de una visión unilateral o reduccionista (Ramírez, 2008).

Para ello requerimos del concurso de una Categoría y del tránsito que desde ella podamos dar en torno a diversas disciplinas a la hora de abordar un problema, adquiriendo así el enfoque transdisciplinar que nos proponemos.

A ello se debe que aprender Categorías, explica Ramírez (2008), implique aprender una constelación de conceptos que aportan las diversas disciplinas organizadas en torno a estas y, por ende, aprender a pensar desde la perspectiva del pensamiento complejo. La razón está en que los diversos conceptos pueden convertirse en posibles ángulos desde los cuales se explique un fenómeno del mundo actual, provenientes de un enfoque múltiple o transdisciplinar de un problema de investigación.

Evaluemos

1. En sus palabras, explique lo que significan los siguientes conceptos:
 - Interdisciplinariedad
 - Transdisciplinariedad
 - Pluridisciplinariedad
 - Categoría
2. Formule una metodología para realizar trabajos transdisciplinarios en ámbitos sociales, ambientales o empresariales.

Actuemos

Comente como su proyecto personal vincula a personas de diferentes puntos de vista, y como sus opiniones pueden generar un aporte para su trabajo aún cuando sus comentarios le puedan generar algún tipo de incomodidad.

También, comente sobre la actitud que tuvo al recibir sus comentarios y la actitud que debió haber tenido. ¿Las dos se corresponden?

Comentemos

En grupos de cuatro estudiantes:

- Discutan el significado de las siguientes palabras:
 - Problema ambiental
 - Problema medioambiental
 - Cortometrajes
 - Largometrajes
 - Semántica
 - Semiótica
 - Dialéctica
 - Dialógica
- Construyan una matriz en la que se crucen las categorías (Espacio, Tiempo, Energía, Materia y Diversidad) y los ítems: empresa, medio ambiente, familia, pareja y sueños. Se identificará en cada casilla la relación entre tales conceptos.

Profundicemos

Buscando profundizar y al mismo tiempo cerrar esta primera parte del libro, sería muy interesante la lectura del libro “Los siete saberes necesarios para la educación del futuro” del autor francés Edgar Morin. Este documento, escrito para la organización de las naciones unidas, plasma las ideas de este genial escritor postmoderno, en las cuales se puede sentir el aroma de la cultura con la que tendremos que enfrentarnos en no muchos años y las competencias que tendremos que desarrollar para poder desempeñarnos con éxito en los años por venir.

El libro se ha llegado a promover incluso por organizaciones nacionales que han permitido la libre descarga del libro a través de internet.

Introducción a la Teoría General de Sistemas

7. Los Sistemas

Muchas fueron las áreas del conocimiento que le abrieron el camino a la actual teoría de la complejidad, pero para este trabajo cobra vital importancia la desarrollada desde 1939 por el reconocido trabajo de Ludwig Von Bertalanffy con su obra Teoría General de los Sistemas.

Por esta época, Bertalanffy ya anunciaba la importancia de tal teoría, considerándola una "sciencia nuova", por sus alcances en la transformación del pensamiento y sus aportes en la generación de nueva tecnología.



Leamos

La secuencia con la que se desarrolla la obra de Bertalanffy tomó la ruta de los problemas que habían surgido en varias ciencias y que desencadenaban en la necesidad de una teoría general de los sistemas. Esto fundamentalmente porque, aun cuando los problemas eran distintos, las formulaciones conducían a los mismos lugares.

Es así, como por ejemplo, Bertalanffy (1994) señala que la *Ley Exponencial*, representada por la ecuación de la forma $dx/dt = ax$, donde x es una variable que representa el estado de un sistema cualquiera y a es un valor constante, es denominada ley de crecimiento natural en matemáticas; con $a > 0$ es válida para el aumento de capital por interés compuesto; se aplica al crecimiento individual de ciertas bacterias y animales en biología; es válida para la multiplicación sin restricciones de poblaciones vegetales o animales en sociología; en la ciencia social se le llama ley de Malthus y representa el crecimiento ilimitado de una población cuya tasa de natalidad es superior a la de la mortalidad.

Puede medir también el aumento del conocimiento humano medido en páginas de texto dedicadas a descubrimientos científicos. Con constante negativa ($a < 0$) la ley exponencial se aplica a la desintegración radiactiva, a la descomposición de un compuesto químico por reacción mono molecular, al exterminio de bacterias por radiación o veneno, a la pérdida de sustancia corporal por hambre en un organismo multicelular, al ritmo de extinción de una población en la cual la tasa de mortalidad es mayor que la tasa de natalidad, etc.

Este carácter de la ley exponencial entre otras, nos muestra el carácter de los sistemas, en los cuales, si bien los problemas pueden ser de disciplinas radicalmente distintas, sus formulaciones y propiedades sistémicas son fundamentalmente iguales.

Esto condujo a Bertalanffy hacia una teoría general de los sistemas. Es decir, hacía una teoría abstracta que nos permitiera movernos de una disciplina a otra, beneficiando así la ciencia en general en cuanto a que los aportes de una ciencia pudieran ser aportes en otra, favoreciendo de paso, el adelanto en la praxis.

Para Bertalanffy, la teoría general de los sistemas consta de tres aspectos principales. *La Ciencia de los Sistemas* que es la exploración y explicación científica de los sistemas. *La Tecnología de los Sistemas* que se refiere a los problemas que surgen en la tecnología y en la sociedad moderna. Finalmente, *la Filosofía de los Sistemas* que se refiere a la reorientación del pensamiento y de la visión del mundo, resultado de la introducción del concepto de sistema como nuevo paradigma científico.

Las Matemáticas en la Teoría General De Sistemas

La obra de Bertalanffy nos propone entonces una articulación entre matemáticas y todos los contextos en los que es posible concebirlas, por lo que no es solamente matemática, pero si debe señalarse que contiene un amplio espectro de esta.

Al respecto de *Las Matemáticas* es importante acotar que el imaginario sobre las matemáticas es culturalmente impropio. Algunos hasta escogen su carrera preguntando si tiene matemáticas.

En algunas de sus presentaciones sobre meta-matemática, el profesor Jesús Hernando Pérez propone un sencillo experimento: *al ir a cualquiera de las más populares tiendas de libros del país y preguntarle al vendedor cual es el mejor libro de matemáticas que tiene, la respuesta generalmente será "el algebra de Baldor", pero ¿Es el algebra de Baldor un libro de matemáticas?* La pregunta queda abierta advirtiendo que el imaginario sobre la matemática generado por este popular libro puede ser totalmente inconveniente para el desarrollo cultural académico de una nación.

En alguna conversación personal de uno de los autores con Luis Fernando Ramírez, este señalaba que *la renuncia a la matemática es, a su vez, renuncia a la vida, porque la matemática se vale de los problemas para aprender y la vida solo nos sabe enseñar a través de los problemas*. Luego quien pretende vivir sin problemas no quiere vivir y de eso también trata la complejidad (recordemos que la búsqueda de la complejidad comprende, entre otras, entender la vida tal y como es).

Esta teoría, si bien contiene matemáticas, no nos deja las dudas humanísticas a las que se puede extender, no el uso de las matemáticas, sino su abuso. Al respecto, Bertalanffy apunta en el prefacio de su obra:

Este cuidado humanístico de la teoría general de los sistemas, tal como la entiendo, la distingue de los teóricos de los sistemas, orientados de modo mecanicista, que solo hablan en términos de matemática, retroalimentación y tecnología, despertando el temor de que la teoría de los sistemas sea en realidad el paso final hacia la mecanización y la devaluación del hombre y hacia la sociedad tecnocrática. Aunque comprendo y subrayo el aspecto matemático, científico puro y aplicado, no me parece que sea posible evadir estos aspectos humanísticos, si es que la teoría general de los sistemas no ha de limitarse a una visión restringida y fraccionaria.

No puede ser el ánimo de esta sección el desarrollar la teoría general de los sistemas. Nosotros presentaremos algunos conceptos importantes de esta teoría para el énfasis en estructuras de pensamiento complejo que venimos haciendo.

Observemos

En la línea de mejorar nuestra comprensión de lo que es y podría ser la vida, la matemática desempeña un papel muy importante. Lo que debe ser claro, es que la introducción de la matemática es natural a los seres humanos y a sus procesos de comprensión, no una imposición teórica en pro de la complicación del todo. El número, por ejemplo, no habita fuera de nosotros, sino que es la abstracción natural de nuestra inteligencia para aprehender el mundo. En este orden de ideas, la matemática es humana, porque solo la pueden concebir seres humanos³⁰.

1. Explique brevemente su imaginario y opinión sobre la matemática.
2. Cuál considera usted es la fuente de su imaginario y opinión sobre la matemática. Explique.
3. Encuentra alguna relación interesante, diferente a contar, entre la matemática y sus actividades cotidianas.

Aprendamos

Según Bertalanffy (1994), un *Sistema* es un conjunto de elementos en interacción. Estos pueden clasificarse en abiertos y cerrados (Bertoglio, 1989). Los sistemas abiertos se refieren a aquellos sistemas que establecen intercambios permanentes con su ambiente, intercambios que determinan su equilibrio, su capacidad reproductiva o continuidad, su

³⁰ Existen, sin embargo, personas que consideran que diferentes especies animales realizan conteos, con lo cual los seres humanos no serían la única especie en hacer matemática. Lo que estas personas no saben es que la matemática es un proceso mucho más elaborado que comprende el conteo, pero que no es solo contar. El conteo no supera etapas como la búsqueda de patrones o de estructuras, por citar algún ejemplo.

organización (neguentropía³¹), su morfogénesis³² y equifinalidades³³. Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus ambientes, lo cual es una característica propia de todos los sistemas vivos.

Por otra parte, un sistema es cerrado cuando ningún elemento de afuera entra y ninguno sale fuera del sistema. Estos alcanzan su estado máximo de equilibrio al igualarse con el medio (entropía, equilibrio). En ocasiones el termino sistema cerrado es también aplicado a sistemas que se comportan de forma fija, rítmica o sin variaciones, como es el caso de los circuitos cerrados.

La clasificación que se ha tomado para elaborar este documento corresponde a una que nos permite desarrollar las nociones básicas de este documento. Sin embargo, podemos encontrar clasificaciones mucho más elaboradas de acuerdo a la disciplina específica que las construye.

Como ejemplos de sistemas citamos los siguientes:

- El planeta tierra, el cual es un sistema abierto que recibe energía del sol y materia en forma de cuerpos celestes más pequeños.
- Un individuo que se resiste al aprendizaje se comporta como un sistema cerrado para el aprendizaje, pierde la capacidad de aportar conocimiento pertinente y actualizado y se resiste a los cambios.

En teoría general de sistemas el concepto de *Sinergia* es muy importante. Diremos que existe Sinergia cuando la suma de las partes que constituyen el sistema es algo más o algo menos que el todo. Además, diremos que todo objeto es susceptible de formar parte de un

³¹ La *neguentropía* se refiere a la entropía negativa, es decir, a la tendencia a la organización.

³² La *morfogénesis* se refiere a la capacidad que tienen los sistemas complejos (humanos, sociales y culturales) para elaborar o modificar sus formas con el objeto de conservarse viables (retroalimentación positiva). Se trata de procesos que apuntan al desarrollo, crecimiento o cambio en la forma, estructura y estado del sistema. Ejemplo de ello son los procesos de diferenciación, la especialización, el aprendizaje y otros. Estos procesos activan y potencian la posibilidad de adaptación de los sistemas a ambientes en cambio.

³³ La *equifinalidad* es un término que se refiere a la idea de que diversas causas generen un mismo efecto.

sistema y de enriquecerlo con las propiedades que le aporta a este, aunque esto no signifique que el objeto por si solo tenga tales propiedades. De tal objeto se dice que es sinérgico.

Por ejemplo podemos citar el caso de los relojes analógicos, en los que al tomarse cada uno de sus componentes (horario, minuterio y segundero), ninguno de estos por separado nos podrá indicar la hora, pero si las unimos e interrelacionamos tendremos como sinergia la exactitud de la hora.

Otro ejemplo ocurre en el lenguaje. Una sola letra es simplemente eso: una letra. cuando se combina con otras se forma la palabra, a la vez el conjunto de palabras forman frases y estas a su vez pueden llegar a ser una obra maestra de literatura o poesía. Todas participan y en conjunto potencializan su capacidad de comunicar, con lo que la comunicación escrita sería un emergente de la reunión de letras.

Las organizaciones son otro ejemplo de sinergia. Por definición una organización de personas es un conjunto de individuos trabajando en pos de un objetivo en común. En el caso empresarial, un gerente no tiene sentido sin el grupo de personas que conforman sus directivas, operarios, etc. Es el conjunto lo que conforma la organización llamada empresa.

Diremos que existe sinergia positiva cuando "el todo es más que la suma de las partes", y que existe sinergia negativa cuando "el todo es menor a la suma de sus partes". La sinergia positiva la denominaremos emergencia y la sinergia negativa constreñimiento.

Ligado a este concepto se encuentra otro, el de *Recursividad*, que estudiaremos en mayor detalle en una sección siguiente, el cual nos señala que un sistema sinérgico está compuesto a su vez de subsistemas que también son sinérgicos. La recursividad se refiere a la tendencia que tienen algunos sistemas de convertir sus productos en insumos, es decir, de retroalimentarse. Este proceso que se repite una y otra vez es un ejemplo de iteración.

La sinergia tiene como prerequisite la integración y esta debe ser antecedida por la afinidad de las partes, pues la integración solo es posible si existe afinidad. En consecuencia, el desarrollo de una sociedad puede ser medido en función de la sinergia

existente, así cuando hablamos de una sociedad en crecimiento nos referimos a un sistema altamente sinérgico, pues para que aparezca el desarrollo debe existir afinidad entre sus individuos. Desde el punto social, entonces, el ingrediente fundamental de la sinergia es por lo tanto la afinidad. Su contrapartida no puede ser otro que el odio.

En teoría general de sistemas el contrario de la sinergia se denomina entropía. Sinergia y entropía son, por lo tanto, opuestos: el primero es unión de energía, el segundo, destrucción y disipación de energía. Diremos, sin embargo, que la entropía es el grado de aleatoriedad de un sistema, lo cual determina su orden o estructura anárquica.

Evaluemos

1. Cite ejemplos de sistemas. Posteriormente clasifíquelos como abiertos y cerrados.
2. Cite ejemplos de procesos distintos que generen los mismos resultados. Tenga en cuenta el concepto de equifinalidad.
3. ¿Son los sistemas vivos los únicos capaces de sufrir morfogénesis?
4. Construya un cuadro comparativo entre sinergia y entropía, de acuerdo a que sean estas negativas o positivas.
5. (Concepto de emergencia) coloquemos un conjunto de láminas en las que exista un dibujo que al pasarse de prisa nos dé la impresión de movimiento.
6. Trate de identificar cada uno de los conceptos resaltados con negrilla en la lectura de conceptualización para el sistema gubernamental nacional.

Comentemos

En grupos de máximo 6 personas discutan sobre la existencia de los sistemas y sobre lo que significa construir un modelo matemático. Para ello, recuerde que la existencia viene dada por nuestra capacidad de pensar, como señalaba Renato Descartes.

A partir de la definición de sistema, configure diferentes tipos de sistemas entre los integrantes del grupo, cambiando el tipo de relación con la que se vinculan, por ejemplo, la

relación “te conozco”, “te he visto”, “estamos en la misma área”, “somos de la misma profesión”, “tengo hijos”, etc.

Profundicemos

En este momento son muchos los libros que realmente nos gustaría recomendar, pero calve es la lectura del que le da el título a esta segunda parte: “la teoría general de los sistemas” de Ludwig Von Bertalanffy. El libro es una interesante mezcla entre teoría del conocimiento y matemática.

También es interesante ver la película “Amores Perros” del director mexicano Alejandro González Iñárritu en la que se lanzó al estrellato a su protagonista Gael García. Su contenido es fuerte, pero en el que queda clara la conexión sistémica de la vida real.

8. Recursividad y Fractalidad

Uno de los elementos que caracteriza la complejidad es la recursividad. Esta es una de las características más importantes del pensamiento humano y está presente en muchas de nuestras estructuras mentales.

Un claro ejemplo de pensamiento recurrente es el que determina la “Teoría de la mente”. Esta teoría habla acerca de la habilidad de cada individuo de entender la mente de otros individuos, de saber lo que otros ven, sienten o saben.

Este proceso de análisis es claramente recursivo puesto que, por ejemplo, si alguien me vigila puedo saber no sólo que alguien me está observando, además puedo saber que esa persona sabe que yo sé que estoy siendo observado por él. Algo similar ocurre con la metacognición, esa capacidad de poder mirarnos y mirar nuestro proceso de conocer.

Vamos entonces en este capítulo a tratar de entender y a dar ejemplos de recursividad.

Leamos

Cuando hablamos de una persona recursiva, entendemos que ella utiliza de lo que hay o de lo que tiene para producir aquello que necesita. Esto no está muy lejano de la idea de recursividad que se utiliza en el discurso de la complejidad, de hecho, nosotros decimos que tal vez la mejor idea de este concepto es como sigue:

La recursividad es el proceso mediante el cual se utiliza lo que se tiene o parte de lo que se tiene para producir lo que se necesita.

Este concepto de recursividad está íntimamente ligado al de Iteración. Para presentar este último, invitamos al lector a tomar en mano una calculadora y realizar el siguiente proceso: elija un número positivo cualquiera, digítelo en la calculadora y extraíga su raíz cuadrada. Al número resultante extraíga de nuevo la raíz cuadrada, es decir, repita la

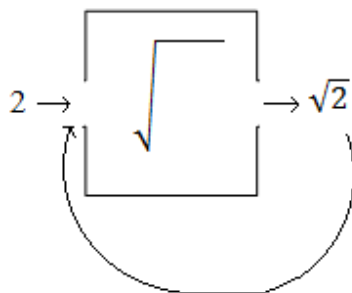
transformación. Si repitiera este proceso indefinidamente, para cualquier número real positivo, después de un rato vera que la calculadora se detiene en uno.

Repetir un mismo proceso de transformación es a lo que se denomina iteración. Luego en el ejercicio propuesto para la calculadora, lo que se realizó fue la iteración de la función raíz cuadrada sobre un número real positivo.

El proceso de iteración presentado sobre un número cualquiera genera una sucesión, es decir un conjunto de pasos del proceso. A continuación presentamos la iteración de la raíz cuadrada sobre el número 2 como una sucesión s_n :

$$s_n = \left\{ \sqrt{2}, \sqrt{\sqrt{2}}, \sqrt{\sqrt{\sqrt{2}}}, \dots \right\}$$

Este proceso lo podemos esquematizar en la siguiente forma:



Es decir que en una iteración, la salida se vuelve entrada para el proceso.

Pero no solamente se tiene iteración mirando números, hay muchos procesos y mecanismos en donde la iteración juega un papel importantísimo, por ejemplo el más famoso rompecabezas de la matemática formulado por Leonardo de Pisa, apodado como Fibonacci (1170 – 1250):

“¿Cuántos pares de conejos pueden ser producidos en un año, empezando con un solo par, si de cada cada par, en un mes nace otro par y este nuevo par después de un mes produce de nuevo otro nuevo par?

Se puede verificar que el número de pares de conejos en cada mes consecutivo, forma la sucesión de números:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13...

La sucesión formada de esta forma es llamada la sucesión de Fibonacci y sus términos son conocidos como los números de Fibonacci.

El término inicial de la sucesión se nota por f_0 , el término siguiente por f_1 , el siguiente por f_2 , y así sucesivamente.

Es claro que en la sucesión de Fibonacci, cada término a partir de f_2 , es la suma de los dos términos previos. Es aquí donde aparece la recursión, pues cada nuevo término se obtiene de la suma de los dos anteriores. Por lo tanto, la sucesión de Fibonacci se puede definir mediante una fórmula de recursión como la que se presenta a continuación:

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2} \quad \text{Para } n \geq 2$$

$$f_0 = f_1 = 1$$

La recursividad, entonces, es un principio que se manifiesta con enorme frecuencia, en los algoritmos, la música, la literatura, la matemática, en los objetos fractales, en la naturaleza, en procesos sociales como los generadores de moda, etc.

Según Ron Eglash (1999) hay, además, diversos tipos de recursividad. Este autor distingue:

- La recursión en cascada, en la cual hay una secuencia determinada de procesos similares.
- La recursión iterativa o retroalimentación, como en la serie de Fibonacci o la regla áurea.
- La recursión mediante auto – referencia, cuya mejor ilustración acaso sea la de una escena en la que un pintor se muestra pintando el mismo cuadro que la escena representa.

Las formas algorítmicas más simples de la recursión se manifiestan a veces como repeticiones periódicas o no periódicas de una misma forma, como en los mosaicos teselares. En nuestros modelos de parentesco, los antropólogos manejan impensadamente algunas definiciones recursivas, como la de antepasado o descendiente.

El elemento visual emblemático de la recursividad (aunque no el único) es la forma espiral, que a su vez puede ser lineal o logarítmica, bidimensional o tridimensional. La forma de espiral y sus estilizaciones se manifiestan con frecuencia en la naturaleza, más localizadamente en la cultura y con algunas veces en los vórtices de ciertos fractales, casi siempre en los más complejos, en regiones límites que casi siempre tienen que ver con las vecindades del caos o las cuencas de atracción. En lo que toca a diversos fenómenos sonoros, imaginarios, intelectuales o matemáticos, la enciclopedia por excelencia de la recursividad aplicada sigue siendo el libro de Hofstadter (1929), aunque es de lamentar que su autor no estuviera familiarizado con la geometría fractal en el momento de escribirlo.

Una de las líneas de razonamiento más interesante de Douglas Hofstadter es la que se ocupa de la organización de los sonidos y patrones de la música, aunque después de Hofstadter ha habido toda una discusión entre los que afirman y los que niegan que todas las estructuras de la música en todas las culturas es fractal, o al menos recursiva (Gardner 1978).

Universalmente o no, hoy en día es práctica común sintetizar o analizar música en base a series de Fibonacci, distribuciones de ley de potencia u otros algoritmos fractales, técnicamente definidos como ruidos.

La investigación actual en fractales sugiere que el diseño y la apreciación de lo que en Occidente se ha dado en considerar objetos estéticamente placenteros se encuentran determinados por reglas subyacentes que imponen constricciones a la forma en que las estructuras pueden presentarse (Voss y Clarke 1975; Pickover 1990).

En el campo de la semiología de la música se cree que ese principio es válido para todas las culturas. Diversos investigadores han realizados experimentos de laboratorios de apreciación musical que parecen confirmar estas ideas, utilizando algoritmos genéticos y métricas basadas en la ley de Zipf como criterio de adecuación (Manaris y otros, 2003).

Cuando se publicaron los estudios de Ron Eglash, la antropología, a excepción de algunas observaciones desperdigadas en la obra de Bateson, no ha sabido tratar la recursividad con un poco de imaginación. Tampoco lo han hecho acabadamente las formas discursivas del paradigma de la complejidad.

En el tratamiento que ha dado Edgar Morin (1999) el concepto está distorsionado por su atadura a otra idea, *la auto – organización*, lo cual conduce a que se vacíe la precisión formal y a que se despeñe, via Foerster y Maruyama, en una mística de celebración de la retroalimentación positiva. La argumentación de Morin, en el contexto de sus habituales ejercicios de oposición entre una cibernética mecanicista perversa y otra buena y humanizadora, tratan de disimular que el concepto de recursividad ya estaba suficientemente articulado en el tratamiento que dio Cannon (1932) a la homeostasis, y que su propia concepción carece de una especificación matemática y de una ontología precisa; la “apertura” y la propensión al cambio de las máquinas recursivas que Morin tiene en mente, además se lleva bastante mal con las exigencias de autonomía, mantenimiento del equilibrio y clausura operacional de las máquinas autopoieticas, a las que Morin se afana por enlazar en el mismo trámite.

En cuanto a las formas visuales de la recursividad, Clifford Pickover, biofísico, bioquímico y artista fractal, reúne en su libro clásico sobre los patrones del caos y la belleza numerosos ejemplos de espirales (tanto simples como fractales) provenientes de la naturaleza, la cultura y la imaginación matemática (Pickover 1990).

Merecen señalarse las espirales simple de las escrituras Thai, Farsi y Tamil, los más complejos de los tatuajes faciales de los Maoríes de Nueva Zelandia, las gárgolas góticas, las firmas y los diseños victorianos, los signos para las malas palabras de los dibujantes de tebeos, las configuraciones percibidas tras la ingestión o aspiración de alucinógenos, las

marcas rupestres trazadas en lo que alguna vez se llamó la Edad de Hierro, los signos celtas, los tangkas tibetanos, las pinturas de Joan Miró.

En el Museo de Bogotá se puede apreciar una fuerte concentración regional de diseños espiralados en objetos de los Muisca, Malagana, Quimbaya, Tairona, Tumaco, Cauca, San Agustín, Tolima, Uraba y Sinu, casi siempre en relación con simbologías de la vida, la muerte y el tiempo. Un símbolo obvio de recursividad es el diagrama cibernético de la retroalimentación; otro es el uroboros, la serpiente o dragón que se muerde la cola, del cual algunos pretenden que se deriva el emblema del infinito.

El ser humano a partir de sus capacidades racionales y del modelo científico en el que se enmarca, intenta dar explicación a todo lo que lo rodea. En este sentido, los modelos matemáticos son de ayuda para la abstracción de la realidad, ya que permiten generar explicaciones contundentes y verídicas, que son corroboradas y ejemplificadas en la realidad.

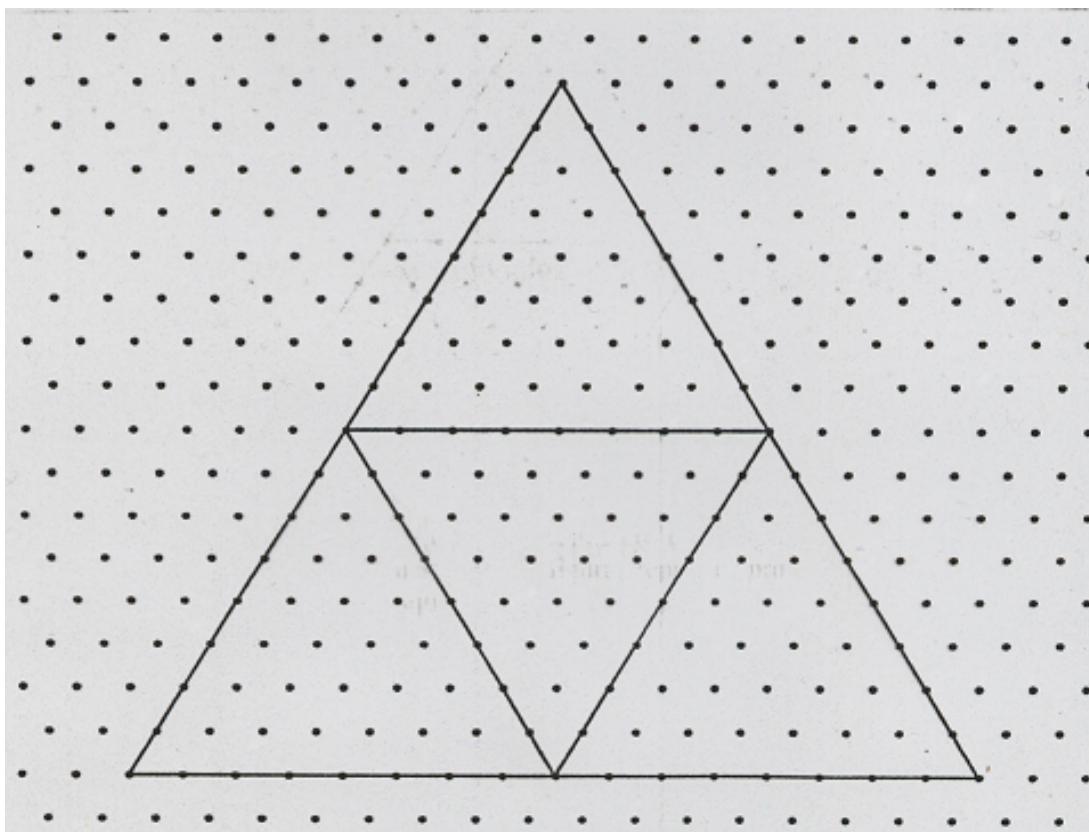
Pues bien, el estudio de las teorías sobre fractales, son una respuesta al interrogante de la modelación de objetos de la naturaleza, los cuales no pueden ser descritos por la geometría clásica. La descripción de paisajes donde frondosos bosques y amplias costas no pueden ser identificados como, por ejemplo, con conjuntos de conos, cubos y esferas; donde no se pueden describir sus estructuras con curvas o líneas, pues estos son irregulares, llenos de pequeños detalles que los hacen únicos y de gran complejidad.

En el mismo entorno vemos que no todos los objetos se pueden describir en dimensiones enteras, es decir no todos los objetos son curvas, planos o espacios específicamente, ya que por el mismo hecho de ser imprecisos e irregulares sus estructuras y superficies pueden ser rugosas, porosas o llenas de otras imperfecciones. Esto lleva al estudio de la dimensión fractal, la cual se presenta en fractales comunes, como en objetos de la naturaleza. La dimensión trae consigo una aplicación a las propiedades de los conjuntos fractales, ya que esta representa finalmente un índice de complejidad del fractal u objeto natural.

Observemos

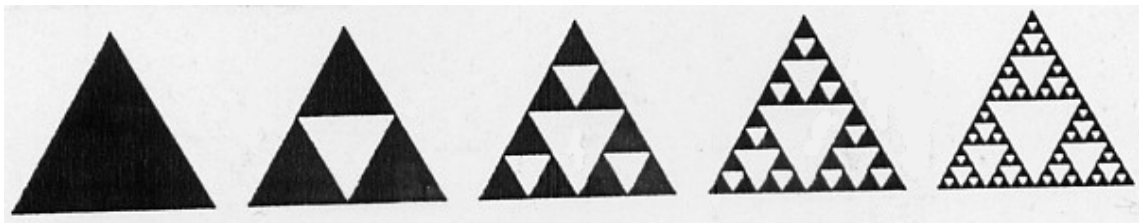
En la actividad de esta sección construiremos uno de los fractales matemáticos más importantes, conocido como el triángulo de Sierpinski:

Considere el triángulo equilátero de la figura y conecte los puntos medios de los lados como se muestra en la figura suprimiendo el triángulo del centro; repita el proceso solo con los sub-triángulos que se forman en las tres esquinas.



Imagine que el proceso se repite una y otra vez. Visualice y describa como la figura va cambiando en cada estado. ¿Qué sucede en el límite? (Si el proceso continúa hasta el final, emerge el triángulo de Sierpinski).

¿Qué sucede con el triángulo original después de cuatro iteraciones si el algoritmo se cambia y solo se remueve el triángulo interno?



Vaya contando el número de triángulos que aparecen (negros) en cada uno de los estados en el proceso de construcción del triángulo de Sierpinski y complete la siguiente tabla:

Estado	0	1	2	3	4	5	N
# de triángulos	1							

¿Por qué constante se puede multiplicar para pasar de un estado al otro?

Si n es muy grande que puede decir del número de triángulos?

Si el área del triángulo en el estado 0 es 1. Encuentre el área total de los triángulos sombreados en el estado 1 al 4. De acuerdo a lo anterior complete la siguiente tabla:

Estado	0	1	2	3	4	5	N
Área de los triángulos	1							

¿Por qué constante se puede multiplicar para pasar de un estado al siguiente estado?

9. Si n es muy grande ¿qué puede decir del área de dichos triángulos?

Aprendamos

“La geometría fractal cambiará a fondo su visión de las cosas. Seguir leyendo es peligroso. Se arriesga a perder definitivamente la imagen inofensiva que tiene de nubes, bosques, galaxias, hojas, plumas, flores, rocas. Montañas, tapices, y de muchas otras cosas. Jamás volverá a recuperar las interpretaciones de todos estos objetos que hasta ahora le eran familiares.”³⁴

³⁴ BARNSELY, Michael F. (1988). “Fractals everywhere”. Editorial Academic Press.

Algunos objetos de la naturaleza no son de fácil y exacta descripción a partir de la geometría tradicional. Los paisajes son el ejemplo fasciante de la difícil descripción geométrica, se ven nubes, arboles y montañas que difícilmente se pueden describir como esferas, curvas o conos.

La geometría clásica, que se desarrolla con rectas y curvas, es óptima para describir objetos artificiales o elaborados por el hombre. Pero el modelamiento de la naturaleza no puede ser descrito con rectas y curvas como en la geometría de Euclides. De allí nace la geometría fractal, del problema de modelar la naturaleza geoméricamente.

Entonces, la geometría fractal es una herramienta para la exploración de estructuras geométricas de conjuntos de puntos de la recta que poseen características y comportamientos particulares. “Los fractales tienen su origen con la aparición de ciertos ejemplos en matemáticas que rompen de manera radical con el concepto de continuidad que tenían los filósofos y matemáticos hasta antes de mediados del siglo XIX”³⁵.

La anterior cita nos introduce a los ejemplos clásicos de la geometría fractal. El primero de ellos es el conjunto de Cantor que rompe con la idea de que una curva al ser dividida indefinidamente, debía ser continua, dado que este es un conjunto no enumerable de puntos y lo hace ser una curva discontinua.

El segundo ejemplo rompe la idea de que si una curva es continua, entonces a esta se le pueden trazar tangentes en cada uno de sus puntos. Para el ejemplo anteriormente señalado la curva de Koch muestra que esta curva es continua pero no diferenciable en ningún punto, demostrando que planteamiento inicial está errado.

Esta geometría desarrollada en los últimos treinta o cuarenta años con trabajos de matemáticos como Koch, Julia, Hausdorff, Sierpinski y Mandelbrot - inicia formalmente a partir de 1970 con el trabajo de divulgación de Benoit Mandelbrot, quien fue el primero en proponer posibles aplicaciones de las estructuras fractales.

³⁵ ESTRADA, William (2004). “Geometría Fractal, conceptos y procedimientos para la construcción de fractales”. Bogotá, Cooperativa Editorial Magisterio, pág. 12.

Desarrollando el tema es menester abordar el concepto de dimensión, para así definir la dimensión fractal y su complejidad.

Dimensión.

Una dimensión se considera como el número de valores reales que se necesitan para describir un punto en el espacio. En este estudio se toma la acepción de dimensión como un grado de libertad de movimiento en el espacio.

Suponga que sobre cada uno de los ejemplos esta una persona. A partir de este concepto tenemos entonces que la dimensión de un punto sería 0, porque estando sobre este no se tendría ningún grado de libertad, Figura 1(a). En la Figura 1(b) se tiene dimensión 1, porque estando sobre esta podríamos movernos hacia la izquierda o hacia la derecha.

En la Figura 1(c) que es un plano se podría mover hacia arriba o abajo y hacia un lado o el otro. Y finalmente Figura 1(d) de dimensiones enteras (perceptibles para el hombre) se llega a un volumen donde se puede desplazar hacia alguno de los lados, hacia arriba o abajo y finalmente en profundidad, es decir que su dimensión sería 3.

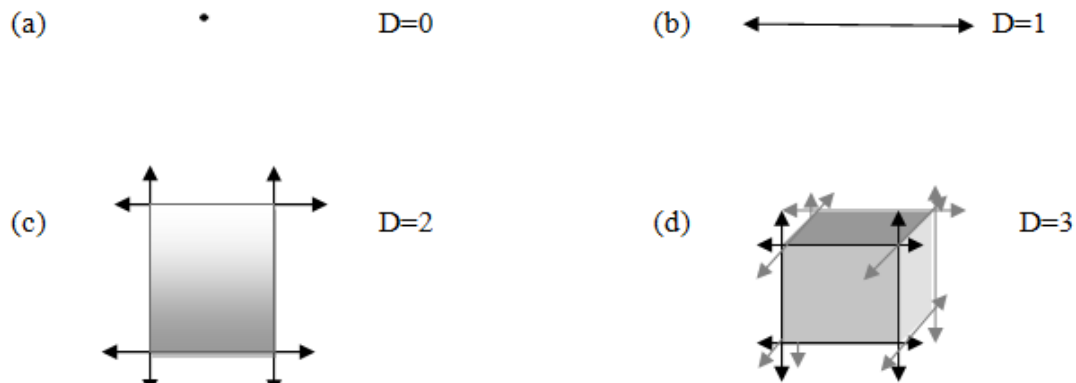


Figura 1

Las figuras de la geometría tradicional tienen dimensiones enteras es decir son 0, 1, 2 ó 3. Ahora, en los objetos de la naturaleza este concepto cambia al tener no una dimensión entera sino una dimensión fraccionaria.

Dimensión fractal.

Para poder describir de una forma más clara y concisa la definición de dimensión fractal, se desarrollará el siguiente ejemplo. Tomando una hoja de papel se nota que es un objeto tridimensional, puesto que posee largo, ancho y alto. Ahora suponga, que la hoja fuera totalmente plana, es decir, un plano de dos dimensiones, en este caso se le podría arrugar y hacer bola. El objeto resultante sería sólido y tendría volumen, pero así mismo, no podría ser tridimensional porque la bola estaría llena de huecos y discontinuidades. Por lo tanto no sería diferenciable. Además, no se puede ver a esta bola de papel como una esfera, ya que para convertirla en este objeto euclidiano se necesitaría un largo número de interpolaciones lineales.

El ejemplo anterior explica la dificultad de la modelación de la naturaleza con respecto a la geometría Euclídea. La mayoría de los objetos no son tridimensionales según los postulados de Euclides, pues poseen hoyos y deformaciones. Además, a pesar de formar parte del espacio tridimensional, su dimensión se halla entre uno y dos, ó, dos y tres.

Continuando con el desarrollo del axioma de dimensión, el siguiente ejemplo ilustra la deducción de la fórmula de dimensión fractal. Se inicia tomando una recta, paso seguido se

agrega otra de la misma longitud, y se posicionan ambas haciéndolas coincidir en un extremo. El resultado es la duplicación de la medida inicial, Figura 2(a). Ahora consideremos un cuadrado, Figura 2(b); si se expande dos veces en cada dirección, se obtiene un cuadrado formado por cuatro cuadrados, Figura 2(c). Si expandimos el mismo cuadro tres veces en cada dirección, se obtiene otro cuadrado formado por nueve cuadrados originales, Figura 2(d). Estos dos ejemplos relacionan el hecho de que $2^2 = 4$ y $3^2 = 9$. El factor de expansión, 2 ó 3, elevado a la dimensión del cuadrado, provee el número de cuadrados originales que se forman en el nuevo cuadrado.

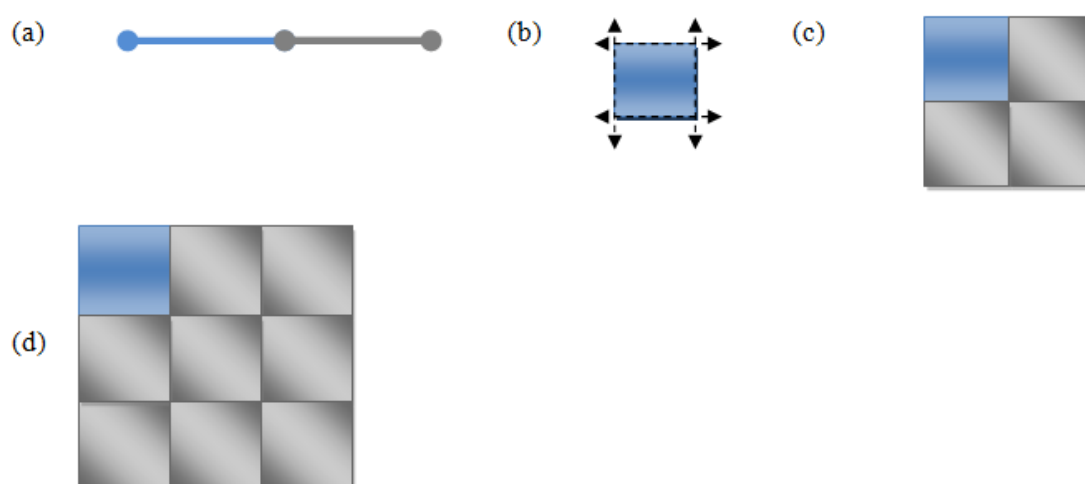


Figura 2

Haciendo un análisis similar al anterior ahora con una figura tridimensional se sigue el siguiente ejemplo. Dado un cubo, Figura 3(a) y duplicando cada dimensión de este, resulta entonces, un cubo formado por ocho de los cubos iniciales, Figura 3(b). Si expandimos cada dimensión tres veces, se obtiene un cubo más grande que contiene veinte siete (27) cubos iniciales, Figura 3(c). Obsérvese ahora que $2^3 = 8$ y $3^3 = 27$. De igual modo, como en el ejemplo anteriormente citado del cuadrado, se denota que existe un factor de expansión, que es elevado a la dimensión del cuadrado o el cubo, 2 ó 3 respectivamente. Por último se ve que el resultado de la potencia del factor de expansión es el número de figuras iguales a la original que forman el objeto final.

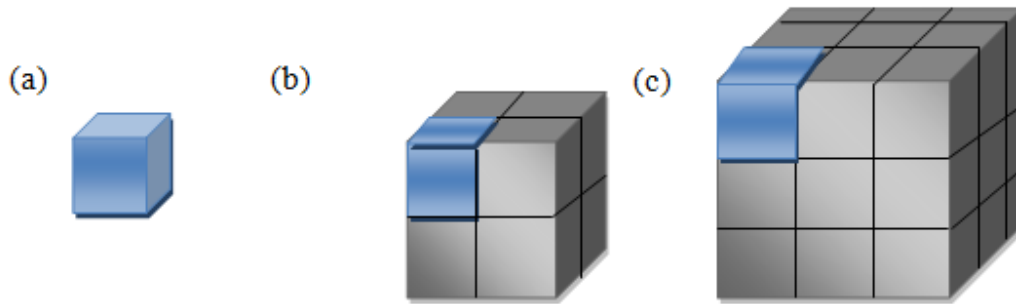


Figura 3

A partir del planteamiento anteriormente citado se encuentra que tanto el cuadrado como el cubo tienen **auto - similitud**. Se denota entonces una propiedad que comparten ahora los objetos de dimensión entera y los fractales. La auto - similitud es una propiedad de los fractales que los hace ser similares a una porción de sí mismos, es decir que una pequeña porción de la figura global es igual a la figura en general, y además, es similar a una sucesión infinita de porciones de esta, cada una más pequeña que la anterior, pero conservando siempre la semejanza con la figura completa.

Para entender mejor el concepto de auto - similitud se mostrarán algunos ejemplos de fractales de la naturaleza y de fractales famosos.

Véase un coliflor, Figura 4(a), y un helecho, Figura 4(b), como ejemplos de fractales de la naturaleza.

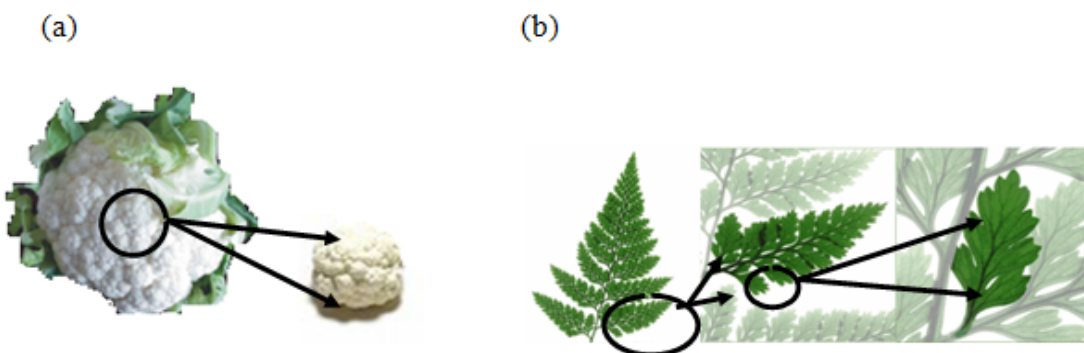


Figura (4)

Ahora, se ilustra uno de los fractales más famosos que muestra el concepto de auto-similitud: el triángulo de Sierpinski. Su construcción se basa en un triángulo, Figura 5(a), a este se le halla en cada lado el punto medio, construyendo un triángulo dentro del mismo, Figura 5(b); luego se remueve el triángulo del centro, Figura 5(c). Ahora se repite el mismo proceso en los nuevos triángulos, Figura 5(d). Por último se continua con la iteración de la figura hasta obtener una sucesión de figuras que tienden al infinito, Figura 5(e).

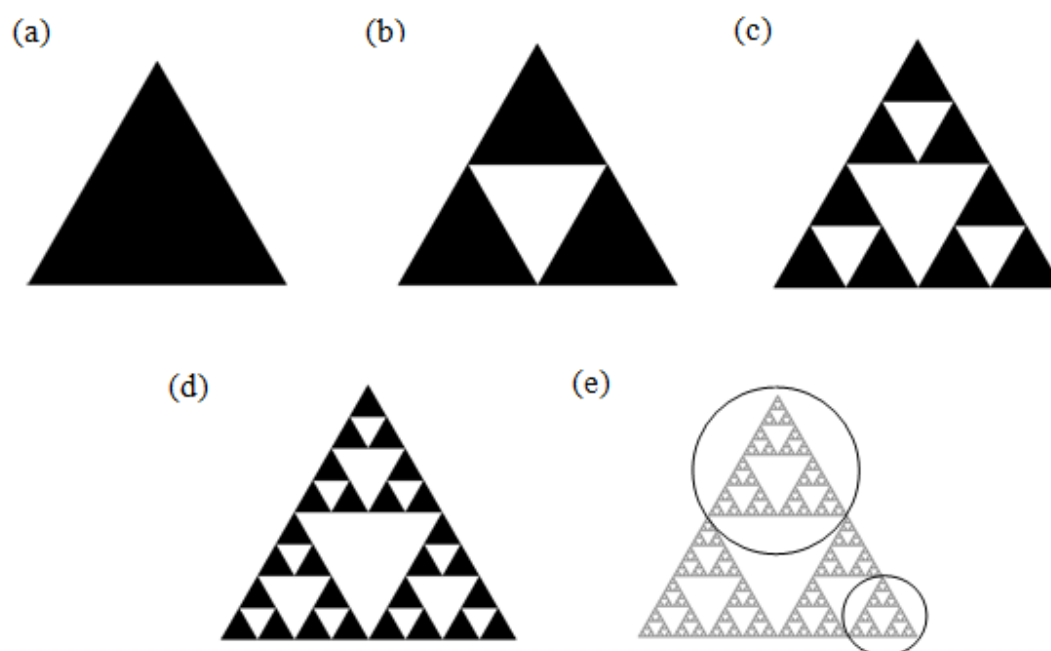


Figura (5)

Aho

ra pues, otro fractal que forma parte de la serie famosa es el copo de nieve o curva de Koch. Para la construcción de este fractal se inicia de nuevo con un triángulo, Figura 6(a). Ahora se divide cada segmento en tres tercios congruentes, y sobre el segmento de la mitad se construye un nuevo triángulo, Figura 6(b). A partir de la última construcción se hace la misma iteración creando una sucesión de figuras que a su vez tiende a infinito, Figura 6(c). La forma final de la curva de Koch se observa en la Figura 6(d).

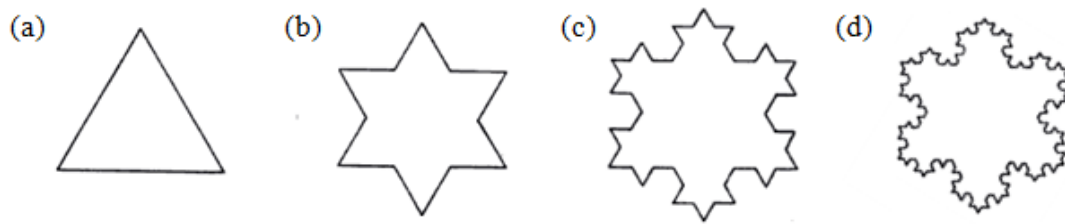


Figura (6)

Para ver la propiedad de auto - similitud del copo de nieve, se toma una porción de la figura final, donde se observa la semejanza de cada una de las pequeñas porciones contrastadas con la figura global.

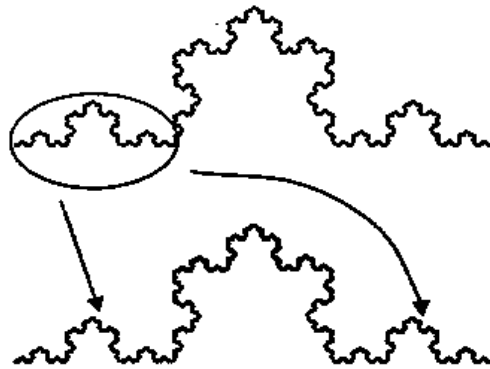


Figura (7)

Retomando el concepto de un conjunto auto - similar se tiene que, un conjunto D es auto - similar si puede ser subdividido en N subconjuntos congruentes cada uno de los cuales al ser multiplicado por un factor E , da como resultado el conjunto S . Entonces en los ejemplos citados anteriormente del cuadrado y el cubo, se cumple la propiedad de conjuntos auto - similares, esto a su vez conlleva a la definición de *dimensión fractal*.

La dimensión fractal de una figura es entonces, un número D tal que, si al expandir la figura con un factor de expansión E , la figura que resulta puede verse como un conjunto de N figuras idénticas a la inicial. De tal manera obtenemos

$$E^D = N \quad (1)$$

En el caso del cubo y el cuadrado tenemos que la dimensión fractal es igual al número de sus dimensiones. Pero entonces surge el problema inicial: ¿Cómo encontrar la dimensión de fractales?, ¿Cómo encontrar la dimensión fractal del triángulo de Sierpinski o la curva de Koch?

Pues bien, veamos que el triángulo de Sierpinski, por ejemplo, tiene dimensión fractal D tal que $2^D = 3$. ¿Por qué si doblamos todas sus distancias, obtenemos una figura semejante formada por tres de las originales? Para resolver esta incógnita se observa que se presenta en forma exponencial, entonces la forma solución se obtiene usando logaritmos.

Se tiene entonces de manera general la ecuación (1) aplicando logaritmos a ambos lados de la igualdad:

$$\text{Log}(E^D) = D \text{ Log } N \quad (2)$$

Por propiedades de logaritmos se tiene:

$$D \text{ Log } E = \text{Log } N \quad (3)$$

Finalmente dividiendo por $\text{Log } E$ en ambos lados de la igualdad de la ecuación (3)

$$D = \text{Log } N / \text{Log } E \quad (4)$$

Regresando al problema de hallar la dimensión del triángulo de Sierpinski, se tiene inicialmente que

$$2^D = 3 \quad (5)$$

Entonces se aplican logaritmos en cada lado de la igualdad y con la ecuación tenemos que la dimensión es igual a:

$$D = \text{Log } (3) / \text{Log } (2) \approx 1.585 \quad (6)$$

Se comprende entonces, que la dimensión fractal de figuras fractales como el triángulo de Sierpinski, está compuesta de números no enteros, es decir, que sus dimensiones son fraccionarias. Al ser las dimensiones fraccionarias no se pueden confundir con que estas

sean fracciones enteras o racionales, ya que la fracción de logaritmos resulta un número irracional.

Complejidad fractal.

El entorno natural es muy complejo, y constituye un gran reto comprender las complejidades presentes en cada rincón de la naturaleza. Pero en si ¿Qué se entiende como complejidad? ¿Cómo podría ser hallada la complejidad fractal en la naturaleza y en figuras fractales comunes?

Pues bien, la complejidad será definida como una propiedad de un sistema que a su vez brinda gran información del mismo; la complejidad representará también la diversidad de elementos que componen tal conjunto, y la cantidad de variables que este contiene. Otra definición interesante de complejidad afirma que "La complejidad puede definirse como el grado de conocimiento requerido para producir el resultado de un sistema".

La complejidad está presente en la naturaleza y como se ilustra en el inicio del escrito, la naturaleza puede ser modelada a partir de la geometría fractal, donde figuras fractales diseñan gran parte de su complejidad. En la cotidianidad, la complejidad de los fractales puede ser representada a partir de paisajes que poseen costas, montañas o árboles, etc. En las costas se ve la complejidad a partir de la accidentalidad de su curvatura, mientras que en las montañas, la complejidad está representada a partir de rocas, arbustos y demás objetos que forman el recorrido y la forma general de las montañas; en los árboles la complejidad está representada por la corteza, ya que esta no es totalmente lisa; por último la complejidad de otros objetos fractales puede ser vista a partir de la accidentalidad, que permite ver la cantidad de elementos y variables que hacen parte del mismo.

Evaluemos

El triángulo de Sierpinski juega un papel muy importante dentro de los fractales deterministas. La siguiente actividad se centra en la propiedad de la autosemejanza. Si partes de una figura son pequeñas réplicas de la figura total, entonces la figura es llamada ***auto - semejante***.

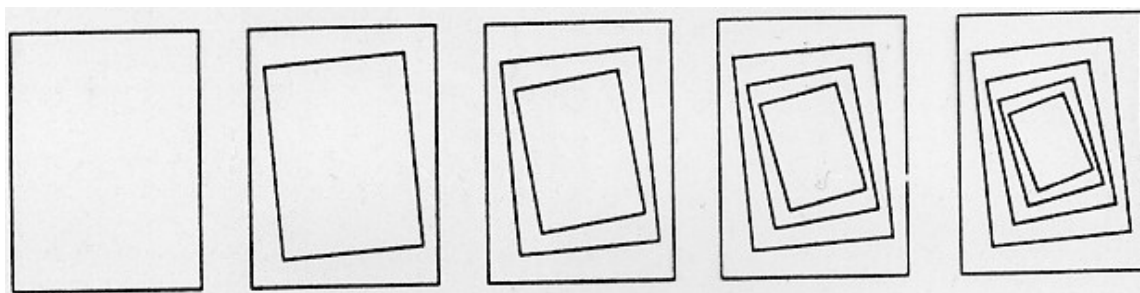
Algunos objetos de la naturaleza tienen apariencia que visualiza esta característica, es decir donde pequeñas partes son copias de la totalidad, Además hay diferentes grados de autosemejanza. El mayor grado ocurre cuando, cuando cualquier parte que se seleccione es auto - semejante con la figura total.

Una figura es estrictamente autosemejante si la figura puede ser descompuesta en partes las cuales son réplicas exactas del todo. Es decir toda parte arbitraria contiene exactamente una réplica de la figura total.

¿Cómo puede comparar una parte de una coliflor con la totalidad? ¿En qué forma son ellas la misma? ¿Son ellas esencialmente autosemejantes?

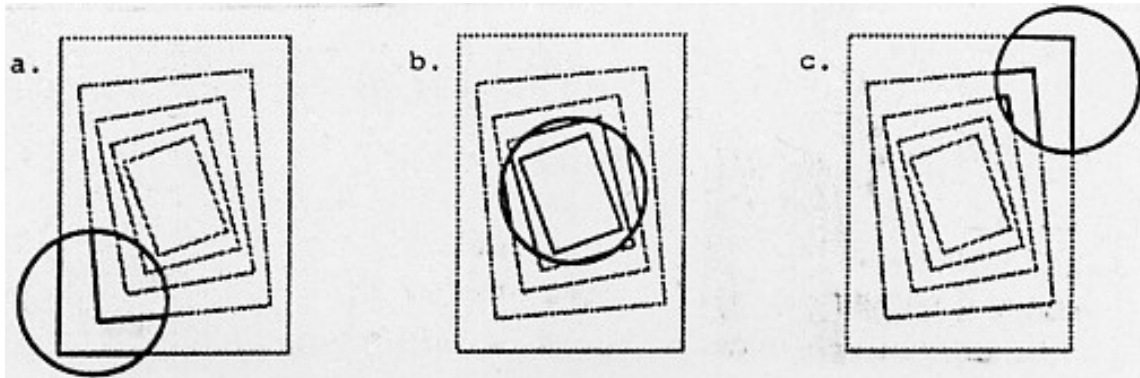
¿Puede identificar otro vegetal que tenga propiedades semejantes?

Imagine la cubierta de un libro que contiene sobre ella una figura de la cubierta del mismo libro girada hacia la izquierda del libro inicial. Si a su vez, ésta cubierta tiene una figura igual a la del libro pero que esta girada hacia la izquierda en el mismo ángulo anterior. Si el proceso continúa indefinidamente, entonces veremos más y más rectángulos sobre la cubierta del libro ¿qué puede Ud. Decir acerca de los rectángulos representados sobre la cubierta de libro?

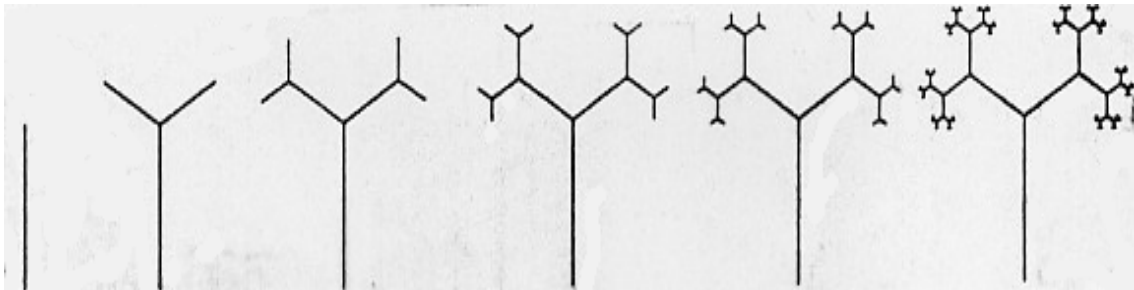


4. ¿Todo rectángulo sobre la cubierta tiene otro contenido en él? ¿Todo rectángulo, excepto el primero está contenido en un rectángulo?

En cada una de las siguientes figuras, se identifica una determinada región de la cubierta del libro. ¿En cuál caso la parte identificada es una réplica de la cubierta total del libro? ¿Es la cubierta del libro completa un fractal auto semejante o estrictamente auto semejante?



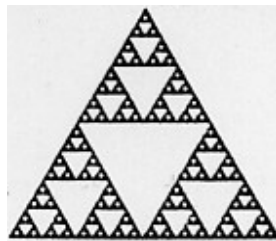
Imagine un árbol, el cual se va expandiendo en cada estado, hacia fuera en un conjunto similar de brazos como se muestra en la figura. Este crecimiento se sigue cada vez más y más y a medida que este crecimiento se va dando, empezamos a detectar la característica visual esencial de la autosemejanza. ¿Existe alguna parte del árbol que sea una réplica exacta de todo el árbol en cada estado? Esto significa, por ejemplo, que la parte que se elija tiene que tener el mismo número de brazos que el todo. ¿Puede ser el árbol auto semejante en un estado finito?



Diferente situación se tiene cuando el árbol está totalmente completo, es decir el crecimiento es pleno. Este es el caso de la autosemejanza ya que en este momento contiene partes que son réplicas exactas, es decir pequeñas copias del todo. ¿Pero, es toda parte del árbol completo una réplica de él? ¿Es el árbol estrictamente auto semejante ? Sobre el diagrama anterior trace un círculo en una porción del árbol que contenga una réplica exacta del árbol total.

Considere el conjunto de los puntos extremos de todas las ramas del árbol en su crecimiento pleno. ¿Es este conjunto de puntos auto semejante? ¿Es estrictamente auto semejante?

Como un ejemplo final, considere el triángulo de Sierpinski. ¿Si Ud. toma una parte del triángulo de Sierpinski, algún pedazo que contenga una parte sombreada, es necesariamente una réplica exacta de todo el triángulo? ¿Es el triángulo de Sierpinski estrictamente auto semejante?



Profundicemos

Acerca de fractales, existen cientos de imágenes en la web con un gran valor estético que pueden ser generadas por programas de libre distribución en la web. También existen un sin número de libros sobre figuras fractales como por ejemplo el popular libro de Michael Barnsley “Fractals Everywhere”, o el libro de Heinz Otto Peitgen, Hartmut Jürgens y Dietmar Saupen llamado “Chaos and Fractals”. Heinz Otto Peitgen escribió otro libro, también muy interesante, junto a Peter Richter denominado “The Beauty of Fractals”.

Cualquiera de estos libros hace muy agradable el estudio de estas increíbles figuras.

Pérez, JA, Redondo, JM, Vargas, MT.

Introducción a la Dinámica de Sistemas

En esta última parte estudiaremos unos grafos dirigidos bi-valuados que representan sistemas, denominados **Diagramas Causales**, los cuales forman parte de la metodología denominada **Dinámica De Sistemas** desarrollada por el ingeniero Jay Forrester del Massachusetts Institute Technology (MIT) en la década de los 50's.



En ésta, se concibe cualquier aspecto del mundo como la interacción causal entre atributos que lo describen³⁶ dando lugar a un diagrama causal, desde el que se avanza para construir un nuevo diagrama, denominado de niveles y flujos, en el que se distinguen los atributos del diagrama causal como: niveles (o variables de estado), flujos (o razones de cambio), variables auxiliares y parámetros, construyendo de este modo un diagrama para la cuantificación.

Dicha distinción permite construir un conjunto de ecuaciones a partir de las cuales se puede definir un sistema de ecuaciones diferenciales que describirán determinísticamente el problema que se está abordando.

A partir de ese momento, y de acuerdo al grupo de investigación, se realizan simulaciones en programas especializados que permiten ver el comportamiento dinámico del sistema estudiado, es decir, la evolución temporal de los atributos y sus interacciones.

³⁶ Tal interpretación es señalada como de sistémica y favorece la construcción de ideas amables con el conocimiento, en el sentido de que no se hace caso del método basado en la estéril fragmentación que nos conduce a la comprensión de un mundo desconexo, sino que al contrario, articula, conecta, integra el conocimiento.

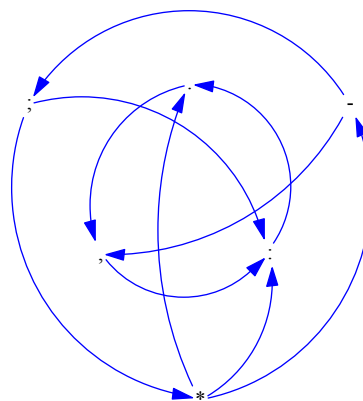
Recordemos de talleres anteriores que un *sistema es un conjunto de elementos en interacción*. Aquí los elementos se denominan **atributos** del sistema y las interacciones **relaciones causales**.

Algunos grupos de investigación en Colombia se han integrado para desarrollar la teoría de los sistemas dinámicos no-lineales sobre estas ecuaciones diferenciales, lo cual les permite identificar comportamientos estables, comportamientos complejos y posibles bifurcaciones de los sistemas.

El principio fundamental de esta teoría es que *la estructura de realimentación de un sistema determina su comportamiento* (Sterman, 2000).

Nosotros en este documento nos enfocaremos en la construcción de diagramas causales, aunque también se presentará la

forma como se construyen diagramas de niveles y flujos, lo cual ya se puede considerar como de muy interesante, orientándolo al desarrollo del concepto de emergencia de **bucles de retroalimentación** y a las implicaciones que tales emergentes tienen sobre nuestra comprensión del mundo como prerequisite en la toma de decisiones y diseño de estrategias empresariales.



Esta parte no tiene ningún tipo de prerequisite, aunque se advierte que fue pensado para aquellos que son o que pretendan ser gerentes o directores en el sector empresarial de nuestro país, aunque también se incluyen ejemplos orientados a temas de ingeniería y sociedad.

En la primera parte, hablaremos de la construcción de diagramas causales. En esta el estudiante debe identificar relaciones causales entre atributos distintos de un sistema, además de los signos de las relaciones y de los bucles en un diagrama causal.

En la segunda parte, estudiaremos algunos de los más populares arquetipos sistémicos, los cuales pueden ser pensados como estructuras previas que se pueden identificar al abordarse un problema y que facilitan la construcción de diagramas causales.

Es importante, sin embargo, antes de empezar el capítulo, referirnos a la guía metodológica para el estudio de sistemas que presenta Aracil y Gordillo (1997). Ellos enuncian tres fases de esta en las que no se demarcan muy claramente sus fronteras. Las fases se presentan a continuación:

- **Conceptualización:** esta es la primera fase y tiene como principal objetivo la construcción del diagrama causal que representa la estructura sistémica del problema de estudio. Se le denomina conceptualización porque al culminarse el ejercicio se han conceptualizado de forma correcta muchos de los atributos del sistema y las relaciones que les vinculan.
- **Formulación:** esta segunda fase tiene como objeto la cuantificación del diagrama causal, para ello debe construir un nuevo diagrama conocido como Diagrama de Niveles y Flujos o Diagrama de Forrester. En este diagrama se distinguen los atributos como variables de estado (niveles), razones de cambio (flujos), variables auxiliares y parámetros, a partir de este se construyen el conjunto de ecuaciones que modelan el sistema.
- **Evaluación:** en la evaluación se comparan los resultados de las simulaciones de las ecuaciones obtenidas con los comportamientos que en la vida real se encuentran. Así se estima el poder real del modelo para ejercicios de toma de decisiones.

9. Relaciones Causales

Para empezar, recordemos que en capítulos anteriores habíamos definido un *Sistema* como un conjunto de elementos en interacción, es decir, un sistema es una dos tupla (C, R) , donde C es un conjunto dotado de elementos y R es la relación entre ellos (Aracil y Gordillo, 1997).

De este modo, basta con definir cuáles son los elementos que representan al sistema, lo que en esta teoría denominaremos los atributos del sistema y, a partir de ellos, definir una relación que los articule.



Los atributos son los perceptos del sistema, aquello que podemos percibir o decir del sistema. Note que ésta percepción está sujeta a nuestro grado de comprensión del problema y a nuestra experiencia en los oficios de la sistémica. El paso siguiente es definir la relación entre los atributos.

Aprendamos

Para la construcción de diagramas causales hablamos de dos tipos de relaciones: las causales y las correlativas, siendo las causales las que dirigirán el centro de nuestra atención.

Las relaciones correlativas son aquellas en las que no existe una implicación de causa-efecto, como por ejemplo la existente entre el clima y la venta de pianos, donde no podemos establecer de forma natural como el aumento de una de ellas implica la disminución o el aumento de la otra.

Por otro lado, están las relaciones causales, que llevan en sí mismas dos ideas importantes de la matemática: la de implicación y la de proporcionalidad. Es así como definimos dos tipos de relaciones causales: las positivas y las negativas.

Dados dos atributos X_i y X_j de un sistema, se definen las siguientes relaciones denominadas *Relaciones Causales*:

- *Relaciones causales positivas*: A un aumento de X_i corresponde un aumento de X_j que notaremos $X_i \rightarrow^+ X_j$.
- *Relaciones causales negativas*: A un aumento de X_i corresponde una disminución de X_j que notaremos $X_i \rightarrow^- X_j$.

En la construcción de lazos de relaciones causales podemos encontrar los lineales y los que generan estructuras en forma de bucle que permite la realimentación de la información. En nuestro interés están aquellos lazos que generan realimentación.

Evaluemos

Establezca si existe relación causal entre las siguientes parejas de atributos. De haberla, establezca si tiene una sola dirección (cuál) o doble dirección.

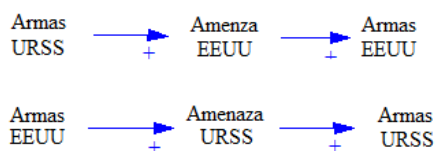
Población	Personas Infectadas
Contaminación	Consumo de cigarrillos
Salario	Interés
Distancia	Velocidad
Inversión	Precio
Calidad	Precio
Producción	Ventas
Cantidad	Inversión

Servicio al Cliente	Ventas
Gasto	Perdidas
Ventas	Inversión
Cantidad De Empleados	Salario Per Cápita
Producción	Activos
Demanda	Precio
Publicidad	Gastos
Tala	Bosques
Temperatura	Erosión
Barriles De Petróleo	Huella Ecológica
Agricultura	Ganadería Extensiva
Monocultivos	Erosión
Gases	Carros

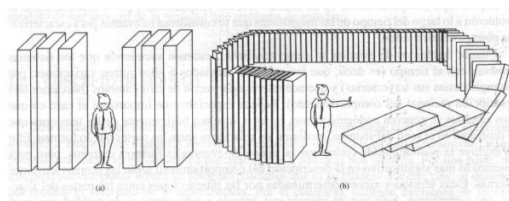
Leamos

Como ejemplo, pensemos en las estructuras lineales que regían el pensamiento de EEUU y URSS, y que les llevó a un enfrentamiento ideológico desde 1945 (finales de la II guerra mundial) hasta 1989 (caída de la URSS).

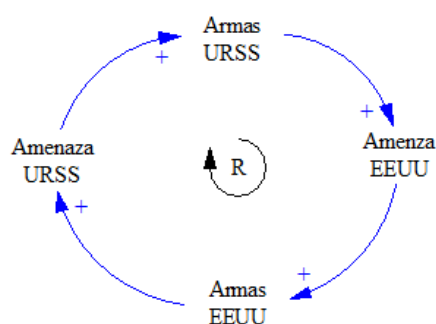
Cada nación interpretaba las armas del otro como una amenaza para su nación y, por lo tanto, invertía en la elaboración de nuevas armas para así no quedar en desequilibrio armamentista con la otra. El diagrama de relaciones causales para cada nación es el siguiente:



El pensamiento lineal impide ver las estructuras de realimentación, escondiendo fenómenos emergentes que generan consecuencias insospechadas. La siguiente figura ilustra la negación que hace un hombre de las estructuras no lineales:



Si las naciones en conflicto de nuestro anterior ejemplo hubieran visualizado la estructura de realimentación del sistema que su visión lineal había conformado, se habrían dado cuenta de que juntas habían reforzado un desarrollo del sistema que habría dejado un gran número de daños de haberse presentado la oportunidad de usar todo el armamento al que habían accedido.



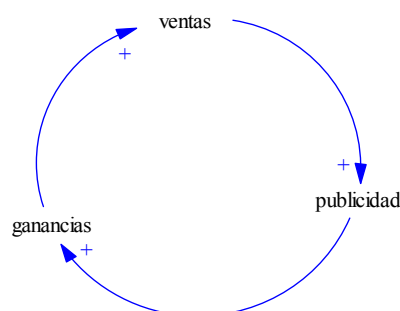
Las estructuras de realimentación, objetos de nuestro interés, también pueden ser positivas o negativas. La forma de calcular el signo de la estructura de realimentación es muy sencilla, basta con multiplicar el conjunto total de los signos que participan en el bucle, como se demostrará rigurosamente más adelante.

En el caso del ejemplo del bucle de la guerra fría, el producto de todos los signos es positivo. A tales bucles se les denomina de muchas formas, de acuerdo al autor y a sus intereses. Encontramos denominaciones como las de bucle inflacionario y estructura o bucle de refuerzo.

Estas estructuras de realimentación positiva implican un crecimiento en el desempeño que representa el bucle.

Tal crecimiento, en algunos casos, puede ser moralmente juzgado. Cuando esto ocurre, el bucle de realimentación positiva es denominado círculo vicioso, como en el caso de la

estructura de refuerzo en la guerra fría, o círculo virtuoso, como en el caso del siguiente ejemplo:



Las estructuras negativas, por su parte, son denominadas ciclos de balance o bucles estabilizadores ya que tienden hacia un valor objetivo. Note que mientras los bucles positivos hacen que el desempeño diverja, los bucles negativos lo hacen converger.

Observemos

Lo que hemos logrado con la explicación sobre relaciones causales y su compromiso en la conformación de linealidades y no linealidades en la estructura mental, es la formalización de un concepto que se intuía. La idea ahora, es evidenciar este tipo de causalidades en nuestros contextos, como por ejemplo, cuando agredimos a nuestros subalternos, abusando de nuestra posición sobre ellos, y esto desencadena en situaciones que no calculamos se nos pudieran devolver.

Entonces, trate ahora de hacer evidentes dos situaciones en las que pueda mostrar lo inconveniente del pensamiento lineal y la forma como el pensamiento no-lineal evidencia esa inconveniencia. En la contextualización de las situaciones que se sugiere proponer, tenga en cuenta el entorno profesional y el familiar.

Comentemos

En grupos de entre cuatro y ocho personas, presenté los resultados de los ejercicios propuestos en la sección evaluemos y observemos de este capítulo. Si las relaciones que se presentan generan el más mínimo de sospecha, antes que quitarla, es indispensable repensar

el nombre del atributo, la relación con los otros atributos o la posibilidad de necesitar atributos adicionales. Sin embargo, es obvio que algunas relaciones y atributos no pasarán ni el proceso de sospecha, por lo que deberán ser eliminados.

Profundicemos

Esta vez, aunque se pueden sugerir libros muy interesantes, como “Business Dynamics” de John Sterman o “Dinámica de Sistemas” de Javier Aracil y Francisco Gordillo, lo más recomendable es tratar de capturar cualquier situación en nuestro entorno con relaciones causales y pretender ver si lo que se está operando allí es el resultado de una estructura de pensamiento lineal o de una no-lineal. Estas capturas de la realidad deben ser socializadas con personas que comprendan la metodología, pues el ejercicio de la dinámica de sistemas no es un ejercicio ensimismado que realice una sola persona, no de forma recomendable.

10. Diagramas Causales

La construcción de diagramas causales no es otra cosa que la identificación de las no-linealidades que aparecen en los sistemas. Como ilustración de las posibilidades de este ejercicio en la vida real, y de la complejidad creciente cuando nuestra comprensión de un problema aumenta, presentaremos como estudio de caso en la sección *leamos* una adaptación del problema del tráfico vehicular publicado por John Sterman en su reconocido libro Business Dynamics. En la sección *aprendamos* se presentara la demostración rigurosa acerca del cálculo de los signos de un bucle de retroalimentación.

Leamos

Al igual que en muchos países del mundo, el problema del tráfico vehicular es uno de los problemas centrales de los gobiernos locales. Tan solo en Estados Unidos había doscientos millones de vehículos registrados en 1995. En Bogotá (Colombia), para 2010 se tenían registrados un millón doscientos vehículos, de los cuales al menos el 30% se usan para que las personas se trasladasen hasta sus trabajos.

El número de vehículos en Bogotá ha venido creciendo a un volumen importante y los trancones en días sin la política de pico y placa como el sábado han convertido el tráfico vehicular en algo insoportable.

Para construir el diagrama causal de este problema recordemos, como se dijo en la introducción de esta última parte citando la guía metodológica de Aracil y Gordillo (1997), que lo primero que se realiza es la conceptualización, fruto de la cual tendremos este diagrama. La conceptualización debe ser parte de un proceso de grupo en el cual la gente debería compartir sus propios modelos mentales y alcanzar acuerdo sobre una simple representación.

El clásico argumento para resolver los problemas de movilidad como los atascos y la congestión, es la construcción de más infraestructura en carreteras. Pero, ¿qué pasa cuando las nuevas carreteras son construidas? Iniciemos por entender esta primera parte entendiendo por dónde deberíamos empezar la construcción del diagrama causal.

Los sistemas consisten de las estructuras físicas y las reglas de decisión usadas por la gente en el sistema (la estructura del comportamiento). La estructura física es la más fácil de visualizar porque representa la estructura de la toma de decisiones, luego lo más recomendable es empezar por ella. Adicionalmente Es más fácil encontrar acuerdos sobre la estructura física. La estructura del comportamiento es a menudo más controversial; si se inicia el proceso de grupo no se puede detener sin realmente haber empezado.

Un buen lugar para empezar el caso de la congestión del tráfico es la congestión en sí misma. Un buen modelo requiere una variable que tenga significado operacional y que se pueda medir.

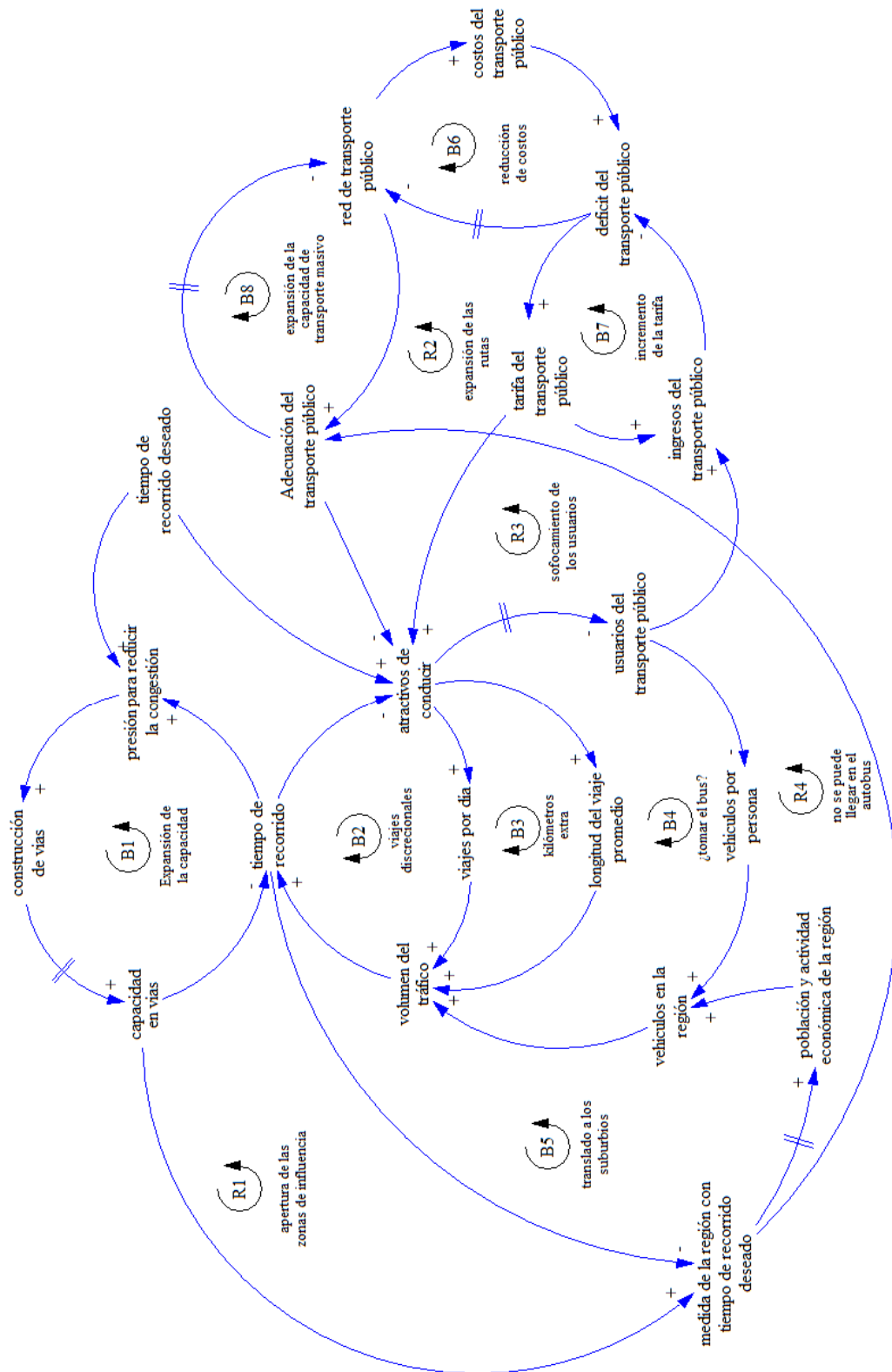
Una buena medida de la congestión es el tiempo de recorrido promedio (para el recorrido típico en una región particular). El tiempo de recorrido depende del balance entre la capacidad de las carreteras para manejar el tráfico y el número de vehículos que usa las vías, denotado volumen de tráfico.

Como el número de los vehículos en las vías se incrementa, dada la capacidad de las carreteras, el viaje promedio puede hacerse grande. Cuando la capacidad de las carreteras se incrementa, dado el volumen de vehículos, el tiempo promedio de viaje se disminuye.

La capacidad de las carreteras es alterada por la construcción de nuevas vías. La construcción de caminos incluye no solamente la construcción de nuevos, sino también, la mejoría de los existentes, la adición de nuevos carriles o el incremento de la capacidad de las carreteras por el cambio en el flujo del tráfico, por ejemplo por la conversión de una intersección de cuatro carriles en un cruce en trébol.

Cualquier proyecto que aumente la capacidad de las vías para facilitar el tráfico se incluiría en la noción de construcción de vías, al menos en esta primera versión del modelo (después se puede desagregar la construcción de nuevos caminos desde la ampliación de las vías existentes, si eso fuera considerado como necesario en el propósito).

Comoquiera que los proyectos de vías toman tiempo, el retraso entre la iniciación del proyecto de construcción y el incremento en la capacidad de vías es explícitamente denotado.



Cuando se desarrolla el mapa causal es de gran ayuda considerar las unidades de medida para las construcciones del diagrama causal.

Tener unidades compatibles es a menudo de gran ayuda para aclarar las ideas acerca de las definiciones de y las relaciones entre las variables. Especificar las unidades y revisar la consistencia dimensional es útil aún cuando el modelo sea puramente conceptual y no se esté interesado en desarrollar una simulación formal. El tiempo de recorrido sería medido en minutos por viaje (para el recorrido promedio en la región). La capacidad de las carreteras y el volumen del tráfico son medidos en Kilómetros-vehículo por día (un kilómetro-vehículo es un kilómetro recorrido por un vehículo).

Habiéndose especificado la estructura física de la construcción de vías y carreteras, lo siguiente que se debe preguntar es acerca de lo que impulsa los programas de construcción de carreteras.

La motivación primaria es la congestión: en la medida en que se incrementa el tiempo de recorrido, los embotellamientos del tráfico se convierten en norma, y la hora pico se expande a una mayor cantidad de tiempo diario. Nuestros políticos empezarán entonces a ejercer presión para la construcción de nuevas vías.

La congestión presiona la creación de nuevas vías; la nueva capacidad se agrega, el tiempo de recorrido se reduce, la presión se alivia. Así se conforma el primer bucle de retroalimentación negativa (B1) que representa la expansión de la capacidad en vías. Este bucle (B1) actúa reduciendo el tiempo de recorrido a niveles aceptables. Los bucles de retroalimentación negativa como son de carácter convergente, tiene un valor objetivo del bucle, en este ejemplo es el tiempo de recorrido deseado que se ha hecho explícito en el diagrama causal.

El tiempo de recorrido deseado es el tiempo de recorrido que los conductores consideran aceptable (en promedio), quizás 20 minutos para el recorrido entre la casa y el trabajo.

De forma usual el volumen del tráfico es considerado exógeno. Esta afirmación es una reflexión aproximada de los modelos metales de muchos políticos, planeadores de ciudad, y oficiales de transporte, para quienes el volumen de tráfico crece en la medida que la

población de la región crece y en la medida en que existe un desarrollo económico local. Ellos ven sus trabajos construyendo suficientes vías para mantener los tiempos de recorrido en un nivel aceptable, haciendo que la presión política permanezca baja, con lo cual puede ser reelegidos, y esto hace que se preste especial atención a las firmas de construcción, a los promotores de bienes raíces y a la comunidad de negocios quienes se benefician de la construcción de vías y quienes a menudo se proveen cargos lucrativos cuando han abandonado sus oficios políticos; si el bucle de expansión de capacidad fuera el único proceso de retroalimentación en el sistema, entonces las políticas de construcción de vías para reducir la congestión trabajarían bien: cada vez que el volumen del tráfico aumente, dejando la congestión y la presión sobre la comunidad, un programa de construcción de vías se iniciara y la capacidad de las carreteras se expandiría hasta que tal presión desapareciera.

Sin embargo, el volumen del tráfico no puede considerarse exógeno para formular la estructura causal determinante del flujo del tráfico. Nuevamente debemos considerar lo físico del sistema y las unidades de medida de las variables. ¿Qué determina el volumen de tráfico? Tener tráfico, tener... carros. Sin carros, no hay tráfico. Entonces el número de vehículos en la región debería ser un determinante en el volumen del tráfico. El volumen del tráfico es medido en kilómetros-vehículo por día. El volumen del tráfico total debería ser entonces igual al número de vehículos en la región multiplicado por el número de kilómetros (km) que cada vehículo recorre por día. A su vez, el número de kilómetros que cada vehículo recorre por día es el producto del número de viajes que cada vehículo hace por día y la longitud del recorrido. Esto es promediando sobre la población de vehículos

volumen del tráfico = vehículos * promedio recorrido por día * promedio de la longitud recorrida

km vehículo por día = vehículos * viajes por día * km por viaje

El número de viajes por día y el promedio de la longitud del viaje no son constantes y depende del nivel de congestión. Si el tráfico es liviano, la gente preferirá tomar recorridos adicionales más largos. Cuando la congestión es pesada la gente renunciará o aplazará sus recorridos y hará viajes más cortos tratando de conseguir las cosas que necesita en tiendas y

centros comerciales más cercanos y menos populares. Igualmente el número de vehículos en la región no es constante. El número de vehículos en la región puede ser pensado como el producto de la población de la región y el número de carros por persona. El número de vehículos por persona a su vez no son constantes pero depende de lo atractivo del ejercicio de la conducción. La atracción de conducir depende del nivel de la congestión.

Agregando estas relaciones al modelo se cierra tres bucles de retroalimentación negativa, todos ellos incrementando la congestión cuando las nuevas vías son construidas. Supongamos que nuevas vías son construidas reduciendo la congestión. En el corto plazo el tiempo de recorrido disminuye, el número de carros en la región no ha cambiado y los hábitos de la gente no se han ajustados a los nuevos cortos tiempos de recorrido.

En la medida en que la gente nota que pueden hacer ahora sus recorridos más rápidamente que antes, ellos realizarán viajes discrecionales (bucle B2). Ellos también realizarán viajes extras (bucle B3) con el tiempo, al ver que manejar es ahora mucho más atractivo que otros tipos de transporte tales como el sistema de transporte público, algunas personas dejarán de utilizar el transporte masivo y optarán por comprarse un carro. El número de carros por persona (y negocio) se incrementan en la medida en que las personas se preguntan por qué debería tomar un bus (bucle B4).

Estos tres bucles de retroalimentación negativa, en adelante bucles de balance o de compensación, harán que para cualquier nueva construcción de vías se incremente el flujo de tráfico. Pero la construcción de vías estimula otros bucles de retroalimentación. La población de la región no es exógena y se ve afectada por la accesibilidad de los barrios periféricos. En la medida en que la red de vías se expande y nuevas vías libres y anillos de vías se conectan desde los diferentes barrios con el centro de la ciudad, la medida de la región con un tiempo de recorrido razonable crece.

Por supuesto, el tiempo de recorrido promedio tiene un efecto negativo sobre la medida de la región accesible: el aumento de la congestión, disminuye el radio accesible.

Las flechas que conectan la población de la región cierran dos bucles de retroalimentación más. La gente comienza a desplazarse a los suburbios (B5). Cuando la población de los suburbios crece, la población de automóviles crece también. Las vías comienzan a llenarse. El volumen del tráfico crece más y el incremento de los tiempos de recorrido crece hasta la resultante congestión que hace de los suburbios lo suficientemente inatractivo como para detener más la inmigración y el desarrollo.

El efecto combinado de los cuatro bucles de retroalimentación (B2 a B5) compensa fuertemente cualquier disminución en el tiempo de recorrido provocado por las nuevas vías. Si nuevas carreteras fueron construidas y la construcción se detiene, habrá una inmediata caída en los tiempos de recorrido. Pero en la medida en que la gente responda a las nuevas facilidades de recorrido más grandes se harán los viajes tomados.

Más gente comprará vehículos abandonando el servicio de bus para dirigirse al trabajo. La población de los suburbios crecería. Estos ajustes continuarán hasta que los tiempos de recorrido se incrementan lo suficiente como para detener la expansión de los suburbios porque los tiempos requeridos para desplazarse se harán muy grandes. Los retrasos en los bucles de retroalimentación negativa podrían causar la congestión hasta más allá de los niveles deseados.

Pero la construcción de vías no se detiene. En la medida en que aparecen nuevas vías se abren nuevos territorios (bucle R1). Esto hace posible vivir en los alrededores de la ciudad y desplazarse hasta el centro de la ciudad. Lo que fueran fincas, granjas lejanas o bosques remotos, se convierte en 20 minutos de viaje desde la ciudad, con sus trabajos, cultura y vida nocturna.

Comunidades completas comienzan a brotar, comunidades donde la gente no solo tiene que manejar para trabajar, sino también para mercar, ir al colegio, visitar a sus amigos y a los amigos de sus hijos. La población emergente trae nuevo desarrollo, tiendas, centros comerciales y otros tipos de negocios, transformando el campo en zonas de desarrollo urbano, cambiando pastizales (potreros) en parqueaderos. Todo el tiempo el número de carros sobre las vías crece. Después de algunos años la congestión del tráfico en estos

asentamientos antes tranquilos se convierte en un gran problema. La presión política crece y entonces más vías son construidas.

El modelo muestra claramente la inutilidad de los intentos de reducir la congestión del tráfico a través de la construcción de carreteras. Pueden pasar algunos años, pero en una versión de automoción de la Ley de Parkinson, el tráfico siempre se expande para llenar las carreteras disponibles para su viaje.

Muchos de los bucles identificados en el modelo funcionan durante períodos de tiempo grandes, negando totalmente el efecto de la construcción de carreteras en la congestión.

Algunos analistas sostienen incluso que “añadir capacidad a una red vial llena en realidad ralentizar las cosas” (Kay 1997, p. 15), un fenómeno conocido como la “Ley Braess” en honor al analista de investigación de operaciones que primero lo visualizó.

Un análisis económico estándar sugiere que una disminución en el atractivo de un bien o servicio conduce a la gente hacia productos sustitutivos. ¿Por qué, entonces, al aumentar la congestión las personas no recurren al transporte público? Parte de la respuesta se muestra en el diagrama causal.

Como el tiempo de viaje se hace inferior a causa de las nuevas carreteras, entonces aumenta el atractivo de conducir, el número de pasajeros y los ingresos del sistema de transporte público disminuyen. Los costos, por su parte, no disminuyen mucho, ya que la mayoría de los costes son los costes fijos de prestación del servicio: los autobuses se deben despachar si están llenos o vacíos. Si las autoridades de tránsito tratan de disminuir sus déficits reduciendo los costos (bucle B6), el servicio y calidad pueden malograrse. Se cierran las rutas y la frecuencia de los servicios se reducen. El atractivo relativo de conducir sube y el uso del transporte masivo decae aún más. El déficit se ensancha, dando lugar a más recortes en la red de transporte público como el auto-refuerzo como lo vemos en el bucle de expansión R2 que funciona, además, como un círculo vicioso en el que se disminuyen los pasajeros, se hacen mayores recortes, y se reducen los conductores del servicio masivo.

El aumento de las tarifas para equilibrar el presupuesto de la autoridad de tránsito no es mejor: tarifas más altas aumentan el atractivo relativo de la conducción, y más gente abandona el transporte público para acceder a vehículos particulares. El número de pasajeros cae, y las tarifas deben ser planteadas de nuevo, sofocamiento de los usuarios (R3 circular) dado que los sistemas de transporte masivo tienen una alta proporción de costes fijos, que son altamente vulnerables a estas reacciones de auto-refuerzo.

Los intentos de construir la red de transporte público para compensar los lazos positivos que erosionan la cantidad de pasajeros a través de la expansión de la capacidad del transporte masivo (bucle B7) es comúnmente una batalla perdida, debido a sus largas demoras y altos costos.

Una retroalimentación positiva final vale la pena añadir: La adecuación de un sistema de transporte público depende no sólo del alcance de la red y la frecuencia del servicio, sino también del tamaño y la densidad de población de la región. Con el desarrollo del campo, el centro de las actividades se ubica fuera de la zona servida por el transporte público existente. En la medida en que la densidad poblacional baja, cada vez menos gente vive cerca de una ruta de autobús o metro. El transporte público se convierte en cada vez menos útil porque no se puede llegar en el autobús, lo que reduce aún más el número de conductores del servicio público y el número de pasajeros de este, conduciéndonos a otro círculo vicioso, el lazo R4. Los suburbios crecen y la adecuación del transporte público cae mucho más rápido que la capacidad de transporte masivo tiene para aumentar.

El modelo anterior está aún incompleto (como siempre ocurre con todos los modelos). Se podría añadir muchos más comentarios. Por ejemplo, la propagación de la población en los suburbios de menor densidad poblacional aumenta la duración media de los viajes y la formación de canales adicionales por los que la congestión se eleva para compensar cualquier ganancia causados por nuevas carreteras. El modelo no explora otros efectos secundarios del incremento en el uso del automóvil como las muertes, lesiones y los costos de los accidentes, los efectos de la producción de smog y el ozono, la generación de gases de efecto invernadero, el problema de los residuos sólidos que plantea el descarte de

millones de vehículos cada año, y la dependencia de las naciones altamente automotrices de los suministros inseguros del petróleo importado.

A pesar de sus limitaciones y omisiones, el modelo proporciona una rica explicación al persistente fracaso de los programas de construcción de carreteras orientados a aliviar la congestión del tráfico.

La estructura causal del problema del tráfico ilustra cómo la resistencia política se presenta en una amplia gama de sistemas complejos. Los programas de construcción de carreteras son típicos de las políticas dirigidas a los síntomas de la dificultad. Las políticas dirigidas a aliviar los síntomas de un problema por lo general fracasan porque activan retroalimentaciones de compensación, retroalimentaciones que perjudican los efectos previstos de la política. Los bucles compensadores surgen debido a otros actores, con sus propios objetivos, respondiendo a cambios en el estado del sistema de tal manera que compensan los efectos perseguidos por la política. Si bien cada bucle individualmente puede ser débil, el efecto combinado a menudo puede compensar por completo cualquier política dirigida a un síntoma del problema. Dirigir las políticas hacia los síntomas de un problema es como tratar de exprimir un globo para hacerlo más pequeño. Cada vez que apriete, la presión de aire aumenta, ampliando alguna otra parte del globo por lo que su volumen sigue siendo más o menos igual.

¿Por qué entonces se centran tantas políticas en el alivio de los síntomas de los problemas? Nos enfocamos en los síntomas ya que gran parte de nuestra experiencia se basa en sistemas simples en los que están estrechamente relacionados la causa y el efecto en el tiempo y el espacio, en los que los síntomas y causas son obvios. Mucha de nuestra experiencia es con sistemas en los que existe un único bucle de retroalimentación negativo dominante, como cuando se llega a agarrar un objeto mediante la evaluación de la brecha entre la posición del objeto y la mano. Nosotros entonces extrapolamos estas experiencias diarias con los sistemas simples en la gestión de sistemas complejos. Pero, como Jay Forrester (1969, pp 9-10) señala:

En los sistemas complejos la causa de una dificultad puede estar lejos en el tiempo de los síntomas, o en partes completamente diferentes y remotas del sistema. De hecho, las causas se encuentran generalmente, no en hechos anteriores, sino en la estructura y las políticas del sistema... Condicionados por nuestra formación en sistemas simples, aplicamos la misma intuición de los sistemas complejos y somos inducidos a error. Como resultado, tratamos los síntomas, no las causas. El resultado se encuentra entre ineficaz y perjudicial... Si el intento de solución intensifica el problema, erróneamente atribuida a otra fuente, la organización probablemente redoblará sus acciones “correctivas”, produciendo más dificultad y más presión sobre aún más acciones remediales. Una espiral destructiva se establece.

Observemos

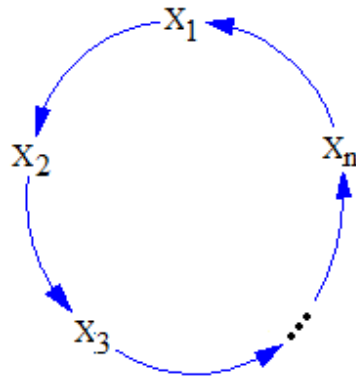
Explique brevemente como habría resuelto usted el problema de tráfico vehicular antes de la lectura.

Concluya sobre el aporte que una estructura de pensamiento no lineal hace a nuestra comprensión de los problemas y como esto puede mejorar nuestra toma de decisiones.

Trate de plantearse un problema o investigue sobre alguno cuya solución sea contra intuitiva, como en el ejemplo del tráfico.

Aprendamos

Es sencillo mostrar el carácter creciente de los bucles de retroalimentación positiva y el carácter convergente de los bucles de retroalimentación negativa. Para ello vamos a suponer un sistema con n atributos x_1, x_2, \dots, x_n como se representa en la figura:



Para determinar el signo del bucle debemos definir lo que significa una relación causal de forma rigurosa. Existe relación causal entre los atributos x_1 y x_2 si

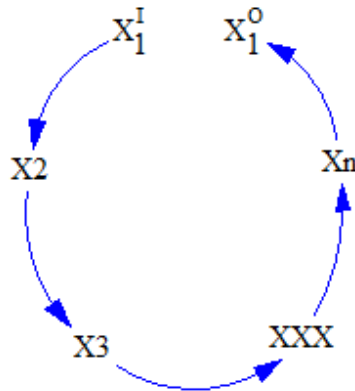
$$\frac{\partial x_2}{\partial x_1} \neq 0 ,$$

Es decir, si el cambio en x_1 genera algún cambio en x_2 , de lo contrario, la relación se dirá correlativa $\left(\frac{\partial x_2}{\partial x_1} = 0\right)$. Así, una relación causal positiva se da en el caso en el que

$\frac{\partial x_2}{\partial x_1} > 0$, y una relación causal negativa en el caso en que $\frac{\partial x_2}{\partial x_1} < 0$. Note que los términos

positivo y negativo de las relaciones causales corresponde así la variación de un atributo con respecto a otro es mayor que cero (positivo) o menor que cero (negativo).

A partir de esto, y para continuar con la demostración de cómo se calcula el signo de un bucle de retroalimentación, supongamos que alguno de sus atributos en realidad son dos, el atributo de entrada ($x_{i_1}^I$) y el atributo de salida ($x_{o_1}^O$), con lo que obtenemos una causalidad lineal:



Con lo que determinar el signo del bucle es lo mismo que determinar el signo de la flecha $X_1^I \rightarrow X_1^O$. Esto se escribe como sigue:

$$\text{sign}\left(\frac{\partial x_1^O}{\partial x_1^I}\right)$$

Utilizando la regla de la cadena del cálculo para esta derivada parcial obtenemos:

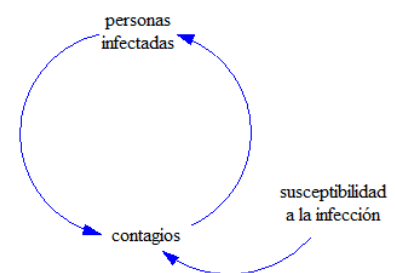
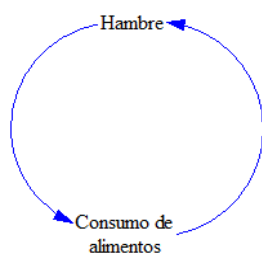
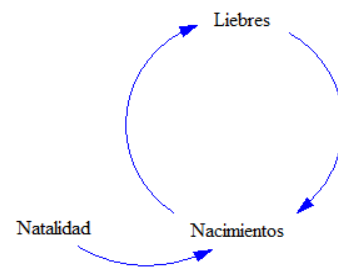
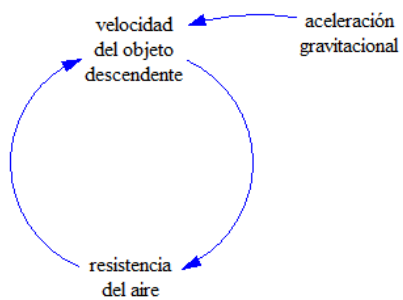
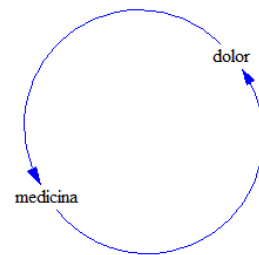
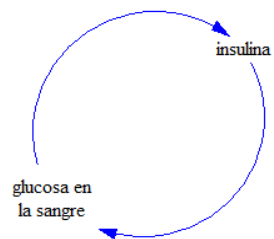
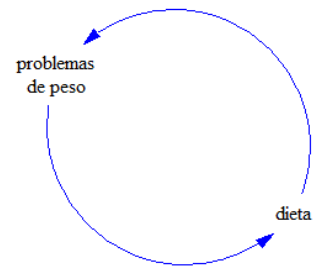
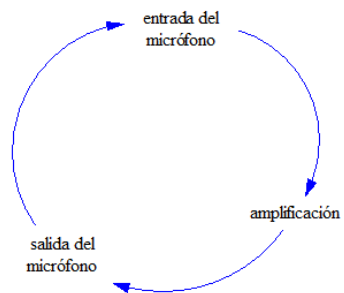
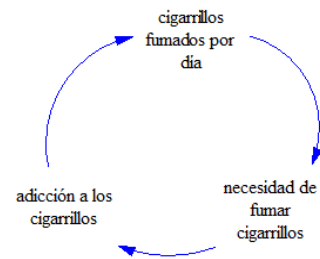
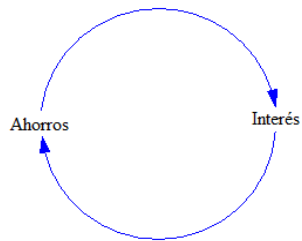
$$\text{sign}\left(\frac{\partial x_1^O}{\partial x_1^I}\right) = \text{sign}\left(\frac{\partial x_2}{\partial x_1^I} \cdot \frac{\partial x_3}{\partial x_2} \cdot \dots \cdot \frac{\partial x_1^O}{\partial x_n}\right) = \text{sign}\left(\frac{\partial x_2}{\partial x_1^I}\right) \cdot \text{sign}\left(\frac{\partial x_3}{\partial x_2}\right) \cdot \dots \cdot \text{sign}\left(\frac{\partial x_1^O}{\partial x_n}\right)$$

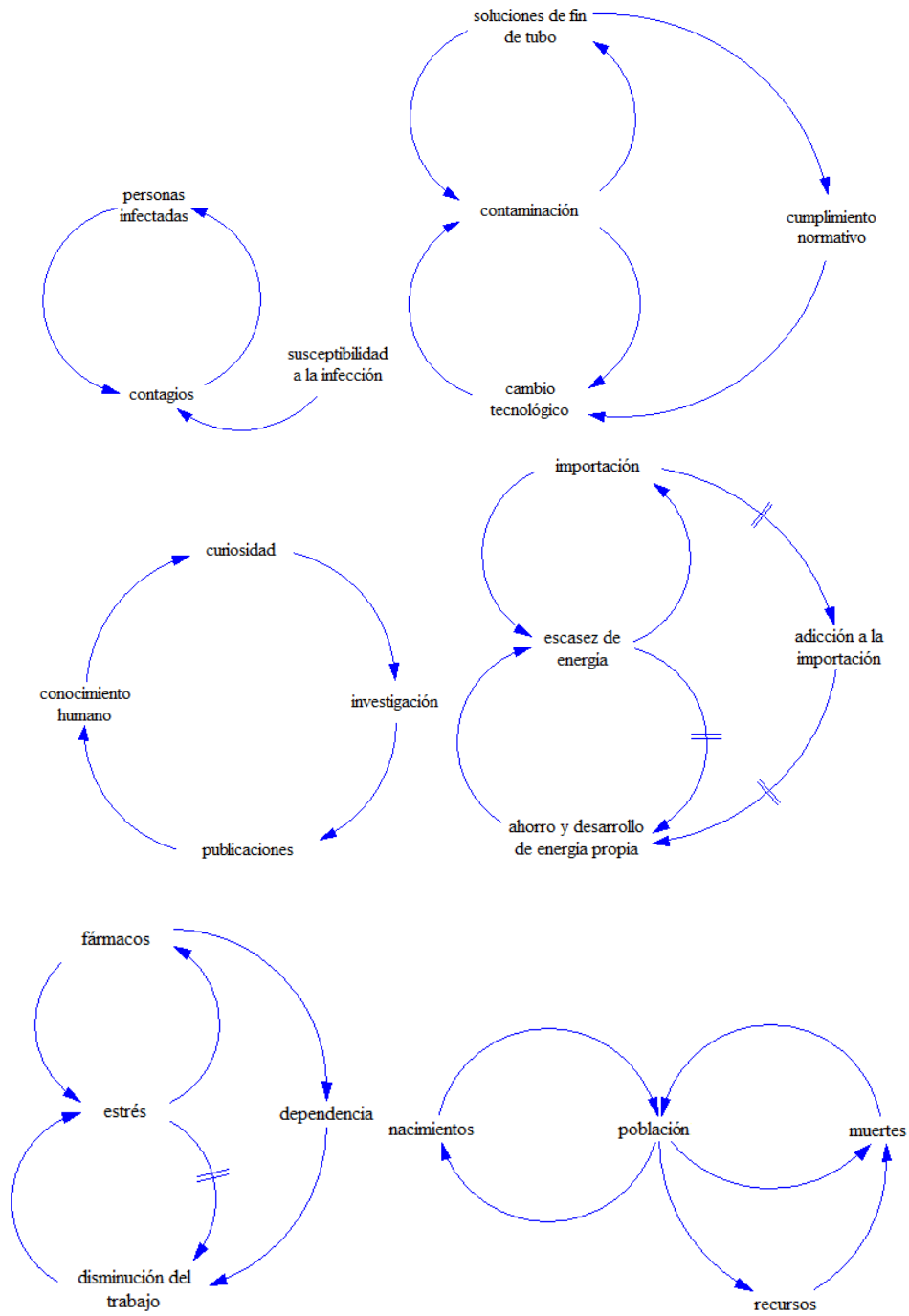
El resultado nos dice que el signo del bucle es el producto de los signos de cada relación causal en él, con lo que queda demostrada la forma en la que se adjudica el signo. Note además en la misma demostración que si el signo del bucle es positivo, significa que todo el sistema crece, como se había señalado de este tipo de bucles.

Evaluemos

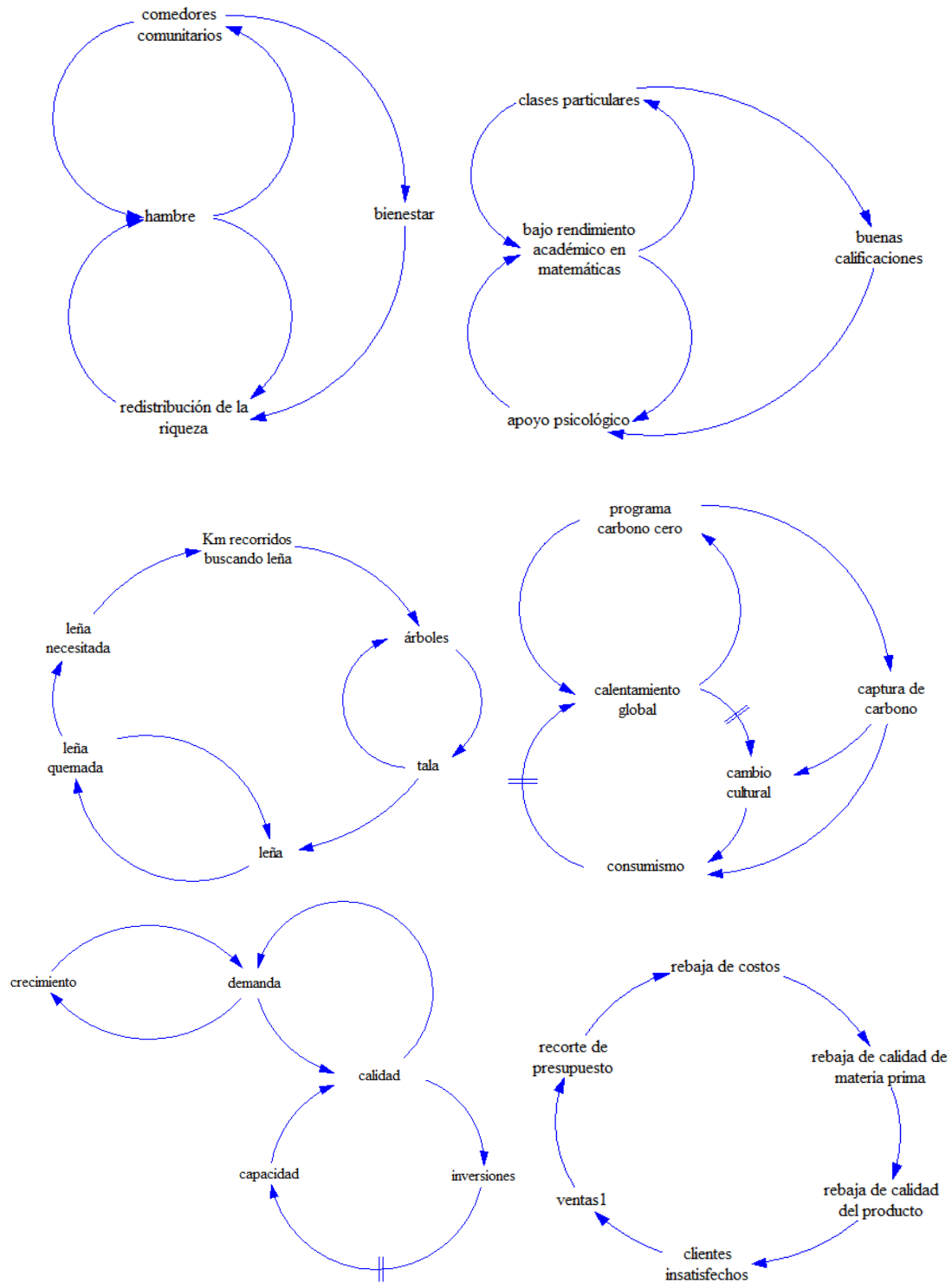
Determine los signos de las relaciones y de los bucles de retroalimentación siguientes.

Estructuras de Pensamiento Complejo





Estructuras de Pensamiento Complejo



Comentemos

Confórmense grupos de seis personas para el estudio de uno de los siguientes temas:

- Organización inteligente
- Toma de decisiones empresariales
- Gerencia estratégica
- Cambio climático
- Seguridad alimentaria
- El aborto
- Corrupción política
- Globalización
- Energía
- Sistemas de pensiones

Para el desarrollo de cada uno de estos, se deberá proceder solo la fase de conceptualización, es decir, hasta la construcción del diagrama causal. La información para esta construcción debe consultarse en páginas web, bibliotecas, institutos especializados, y todos aquellos que el director de la actividad estime como necesarios en el contexto de su realización.

Profundicemos

En dirección a profundizar sobre este tema, el libro de O'Connor y McDermott, "Introducción al pensamiento sistémico" y el libro de John Sterman, "Business Dynamics", contienen un sin número de ejemplos interesantes que conducen a la toma de experiencia en esta teoría. Al respecto, debemos mencionar que la teoría es más difícil por la adquisición de experiencia en su adquisición que por el cuerpo teórico que la sustenta, no significando eso que la teoría sea trivial o simple.

11. Arquetipos Sistémicos

En este nuevo capítulo se presentan un conjunto de arquetipos o estructuras que nos permiten acercarnos a los sistemas e ir adquiriendo experiencia en la construcción sistémica de todo tipo de problemas. El supuesto es que un pensador sistémico, que actúe como consultor, debe tener al menos una docena de estos en su cabeza.

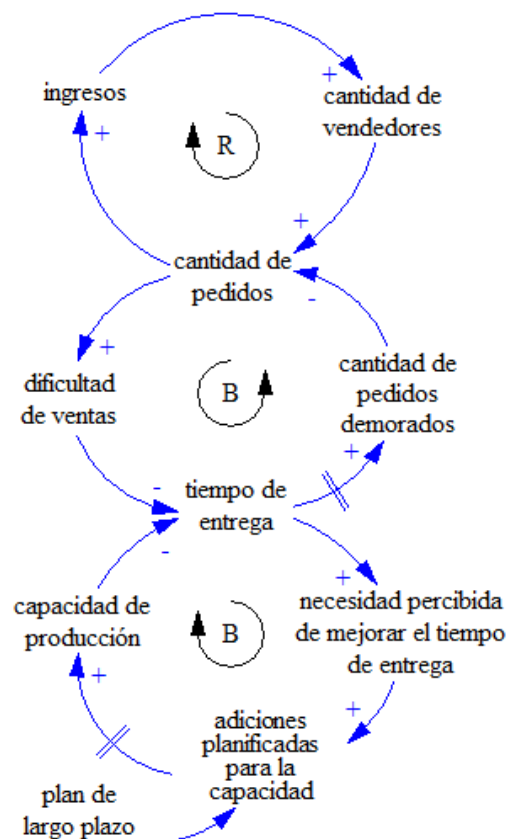
Leamos

Pensemos en una compañía que aumentaba sus ingresos a partir de la contratación de más personal, el cual se dedicaba a aumentar los pedidos de algún producto muy innovador y necesario.

El sistema funcionó bien hasta que la cantidad de pedidos se hizo superior a la capacidad de producción y de entrega, momento en el cual los retrasos en las entregas provocaron descontento en la demanda y, por lo tanto, dificultad y disminución en las ventas.

Los directivos tomaron la decisión de aumentar la capacidad y mejorar los trámites de entrega, solución que cualquiera de nosotros habría asumido, pero al tardar demasiado en la toma de dicha decisión, el sistema entró en un comportamiento que oscilaba entre la erosión de la confianza de los clientes y la sobreestimación de capacidad inutilizada³⁷.

Al observar el diagrama causal, la estructura nos



³⁷ El interesado puede revisar el libro de Peter Senge, "la quinta disciplina" [3], en la que se narra profundamente la historia de la compañía "Wondertech" de electrónicos que aquí referimos.

muestra un bucle positivo en el que se refuerza la conducta de la fuerza de ventas. Esto inicialmente genera la obtención de los objetivos, desde el punto de vista de ingresos y ventas.

Desafortunadamente, todo ciclo de crecimiento, alcanza un tope, el cual es representado por el bucle de balance adjunto, en el que vemos como los retrasos en los tiempos de entrega y la dificultad en las ventas, fruto de los retrasos en la entrega, limitan el crecimiento de la compañía.

A esta estructura, en la que un bucle negativo limita el crecimiento de un bucle positivo, se le denomina arquetipo *Límites Del Crecimiento*.

Pero la interpretación no se detiene ahí, porque vemos, además, dos bucles de balance conectados entre sí. En los dos se observan dos filosofías distintas: la de solucionar el síntoma y la de solucionar el problema.

Lo que usualmente hacemos, porque tenemos la dificultad de no detenernos a meditar y tratar de entender bien, es reforzar la solución sintomática, que en este caso es el aumento del pie de ventas, pues la solución del problema (aumentar la capacidad a tiempo) suele ser costosa, engorrosa o suele tardar mucho tiempo.

A esta estructura, en la que un ciclo de balance lleva al sistema a estabilizarse aún por encima de la conducta estabilizante del ciclo adjunto se le denomina arquetipo *Desplazamiento de Carga*.

Observemos

Cite un conjunto de problemas y discuta con sus compañeros de clase si estos son realmente problemas o síntomas de problemas. Trate de representar los ejemplos con diagramas causales mostrando a sus compañeros lo cierto de sus argumentos.

Aprendamos

Los *arquetipos* son configuraciones naturales, patrones estructurales, recurrentes y emergentes que aparecen en diversas situaciones.

De lo que se trata en el estudio de arquetipos, es de poder disponer de conceptos que nos permitan entender y construir sistemas.

Los pensadores sistémicos, como se les conoce a los consultores que usan la sistémica como herramienta, llevan en su cabeza al menos una decena de tales arquetipos.

Estudiar arquetipos es importante porque es quizás la forma más importante por medio de la cual se puede adquirir la capacidad sistémica.

Nosotros en este documento estudiaremos solo cinco tipos diferentes de arquetipos siguiendo a [3] y [4].

Soluciones contraproducentes

Tema central: “casi toda decisión implica consecuencias de corto y de largo alcance, y a menudo ambas son diametralmente opuestas” [4].

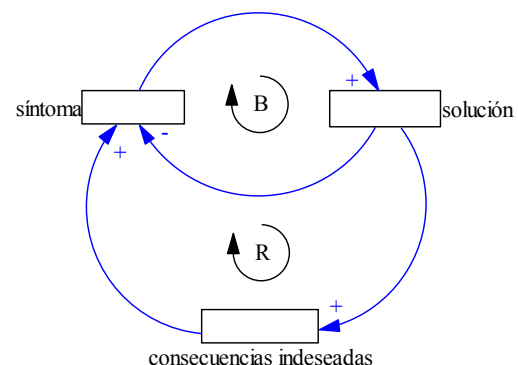
Es de orden cultural solucionar síntomas y no la raíz del problema. La principal dificultad es ni siquiera estar seguro de estar atacando el problema, pues, adicionalmente, confundimos los síntomas de los problemas con los problemas mismos.

Esta situación conduce a la generación de nuevos problemas que antes no eran problemas, pero que ahora se suman al anterior.

En el arquetipo *Soluciones Contraproducentes* se invita a la reflexión sobre cuando realmente estamos atacando el problema, pero adicionalmente, se trata de mostrar que la búsqueda de soluciones rápidas a los problemas atacando sus síntomas, sin tomar acción sobre el problema, implica una conducta oscilante entre alivio y malestar, lo cual al pasar del tiempo implica la pérdida cada vez más grave de la aptitud para rehabilitarse autónomamente.

Plantilla de soluciones contraproducentes:

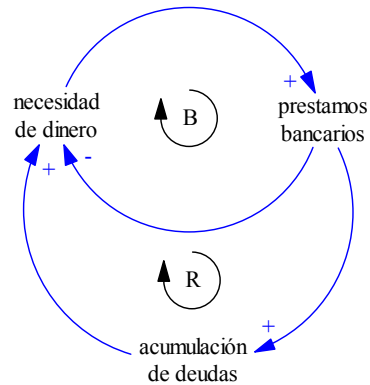
El arquetipo de soluciones contraproducentes consta de un bucle de balance con un objetivo implícito que gobierna el sistema y el contraproducente juego entre un síntoma y su solución, asociado a un bucle de refuerzo que incrementa las consecuencias indeseadas del sistema.



Las consecuencias involuntarias en el ciclo reforzador se van multiplicando lentamente, lo cual en el corto plazo puede pasar inadvertido, pero en el largo plazo, implica su acumulación, lo cual ocurre en la misma medida en que se siga aplicando la solución sintomática.

Ejemplo: Las necesidades de dinero nos llevan a diversas fuentes de este. Una que se convierte en solución contraproducente está asociada al uso de tarjetas de crédito y préstamos bancarios.

En el corto plazo resuelve el problema, pero en el largo plazo genera inconvenientes más difíciles de resolver que los que inicialmente se deseaban abordar.



Recomendaciones:

Se debe recordar que la solución rápida solo alivia un síntoma y que es necesario comprometerse a enfrentar el verdadero problema de inmediato. Sin embargo, existen momentos en que debemos usar estas soluciones rápidas. Lo importante es tener el cuidado de no hacerlo de forma recurrente en periodos de tiempo muy pequeños.

Se debe tener también muy en cuenta que cada solución contraproducente está impulsada por un objetivo implícito en el ciclo compensador que debe hacerse explícito.

Límites al Crecimiento

Tema central: “prever el peor de los tiempos mientras estamos en el mejor de los tiempos” [4].

Suele pasar que muchas de nuestras actuaciones conducen a crecimientos de nuestros desempeños o el de nuestras compañías (crecimiento del desempeño del sistema), pero al cabo de algún tiempo, el crecimiento se detiene, como si hubiésemos encontrado un tope, un muro que no nos permite atravesar.

La primera cosa que se nos ocurre es reforzar la estrategia que veníamos utilizando y que nos permitió el crecimiento.

Pero desafortunadamente, el reforzamiento no mejora el rendimiento y, al contrario, pueden pasar una de dos posibilidades: o el sistema permanece como en una meseta, sin incrementarse, sin

desmoronarse, o nuestro sistema se ve sobrepasado de capacidades y se derrumba ante nosotros sin darnos siquiera alguna posibilidad de evitarlo (extralimitación y colapso).

En ese momento nos preguntamos qué ocurre, porque no vemos la condición que hace que lo que funcionaba ya no funcione.

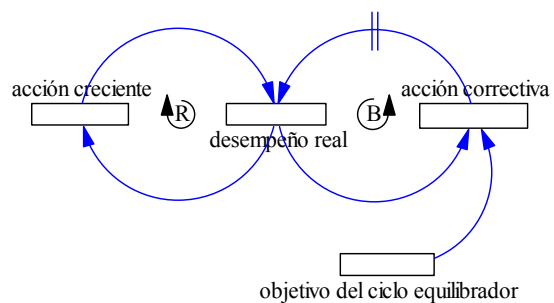
Es posible que lo que esté ocurriendo es que exista una estructura limitante del sistema (bucle estabilizador) que impide la acción del bucle de refuerzo que había generado los incrementos del pasado.

Si este fuera el caso, la estructura sistémica resultante se denomina *Límites al Crecimiento*.

Plantilla de Límites al Crecimiento:

El arquetipo límites al crecimiento consta de dos bucles de retroalimentación de signo contrario.

El primero (bucle positivo) es un círculo virtuoso en el sentido de que refuerza una acción o conducta que nos lleva al crecimiento, a la obtención de metas.



Junto a él, tenemos un bucle de balance que actúa como mecanismo limitativo del sistema, el cual reacciona ante los desequilibrios que le impone el ciclo de crecimiento.

El bucle de balance tiende hacia su objetivo de equilibrio, el cual se traduce en un límite o restricción para todo el sistema. Tal objetivo es difícil de ver porque está muy alejado del proceso de crecimiento.

Los resultados primeros generados por el bucle de refuerzo se denominan “frutos accesibles” [4], en el sentido que cuando se inician las actividades usualmente el buen ánimo y la novedad, impulsan el proceso casi podría decirse que dentro de la inercia.

Estos frutos accesibles nos hacen creer que los resultados de hoy serán perdurables en el tiempo, que nunca se agotarán, pero esto no es cierto en ninguno de los casos, ya que ningún sistema crece

ilimitadamente, siempre encontrará un límite a su crecimiento, es decir, a todo bucle positivo siempre es posible asociarle un bucle estabilizador que se activará en algún instante de tiempo.

Ejemplo:

Cuando una organización profesional, como una empresa legal o una consultoría, crece deprisa cuando es pequeña, brindando importantes oportunidades de promoción. La moral crece y los miembros jóvenes y talentosos están muy motivados, pues esperan transformarse en socios al cabo de algunos años.

Pero cuando la empresa se amplía, el crecimiento se vuelve más lento. Tal vez comienza a saturar su nicho del mercado. O tal vez alcance un tamaño en el que los padres fundadores ya no tengan interés en sostener el crecimiento rápido. Sea como fuere, esto significa menos oportunidades de promoción, más rivalidades internas entre los miembros jóvenes y una caída general de la moral. La estructura se puede representar como sigue:

(Ejemplo tomado de [3]).

Note en el ejemplo anterior que la plantilla y el diagrama conservan lo importante: el número y valor de los bucles, aunque no así el número de atributos.

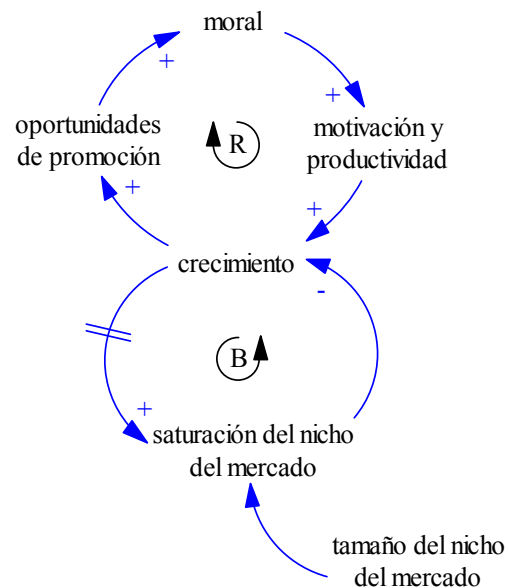
Esto suele suceder y no debe confundirnos, ya que las plantillas no son más que herramientas de inicio.

Recomendaciones:

No necesariamente lo que nos dio resultados en el pasado nos dará resultado en el presente.

Se debe identificar cuál es la estructura de balance y el objetivo de ésta, además de revisar cuál es la relación que tiene con el bucle de refuerzo.

Los retardos en el ciclo compensador pueden llevar el sistema a extralimitación y colapso antes de que nos demos cuenta.



No se debe precipitar el crecimiento, pero si se debe tratar de identificar los factores que están limitando el crecimiento.

Deben plantearse la necesidad de cambiar los motores de desarrollo.

Desplazamiento de Carga

Tema central: las soluciones sintomáticas son evidentes e inmediatas, y pronto eliminan los síntomas, pero desvían la atención respecto de los problemas reales o fundamentales, los cuales cada vez se hacen más difíciles de manejar, pues al manifestarse a través de los síntomas, y al ser estos últimos los que reciben la atención, terminan por incrementarse hasta acabar con el sistema.

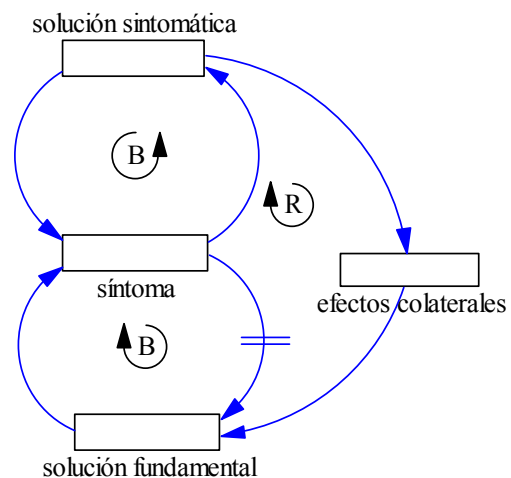
Esta conducta gobernada por la tendencia a solucionar los síntomas, aun cuando tiene sus raíces culturales, también debe decirse que se adopta porque tender hacia la solución efectiva del problema suele ser muy costoso o engorroso, y eso en el afortunado caso que se sepa cómo resolver el problema.

Plantilla de desplazamiento de carga:

El arquetipo de desplazamiento de carga consta de dos bucles de realimentación negativos. Cada uno de ellos representa una solución del síntoma, pero desde puntos de vista distintos. Uno de estos bucles ofrece una solución sintomática, mientras el otro ofrece la solución del problema como solución de los síntomas.

La diferencia está en el retraso generado, como se mencionó más arriba, por los costos o las dificultades en la implementación de tal solución.

Esto implica la más sencilla acción de la solución sintomática, pero a precio de que se generen efectos colaterales que disminuyen la necesidad y la capacidad de implementación de las soluciones contundentes y generan más dependencia en la solución sintomática.



Dos situaciones son típicas en el desplazamiento de carga [4], el “heroísmo de crisis” y el “desplazamiento de carga hacia el interventor”.

La situación del heroísmo de crisis es aquella en la que, por las mismas condiciones en las que el problema ha colocado al sistema, se le permite a alguien tomar algún tipo de acciones que resolverán, al menos en el corto plazo, el problema. El héroe, por su vocación histórica, por su exaltación egoísta, ha colocado a la empresa en una situación muy difícil, la de la dependencia de sus servicios, dependencia que será probada repetidamente, fundamentalmente porque no acabó con el problema sino con alguno de sus síntomas.

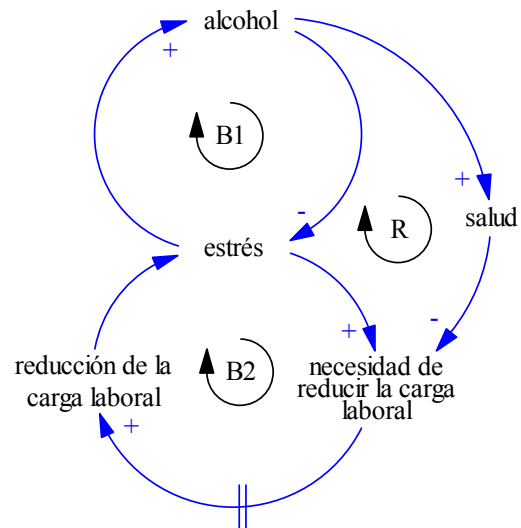
En el desplazamiento de carga hacia el interventor tenemos la misma situación que la del heroísmo de crisis, con la diferencia de que ahora el héroe es un agente externo, como en los casos de consultoría o de contratistas.

Ejemplo:

El más sencillo y diciente ejemplo de este arquetipo es el que le da su segundo nombre: *Arquetipo Adicción*.

Pensemos en el caso de una persona que sufre de estrés y que semanalmente para reducirlo se toma algunas copas de licor. Estas últimas actúan sobre su organismo haciéndole experimentar una sensación de salud con la que emprenderá la siguiente semana.

Su exceso de trabajo, que es el causante del estrés, no parece aliviarse, al contrario hay semanas en las que se incrementa, produciendo mayor necesidad de alcohol.



Al cabo del tiempo, su dependencia del alcohol se hace evidente y su estrés ya no encuentra salida en racionales dosis de alcohol. Es entonces cuando descubre su doble condición: la que le proporciona el estrés y la de alcohólico.

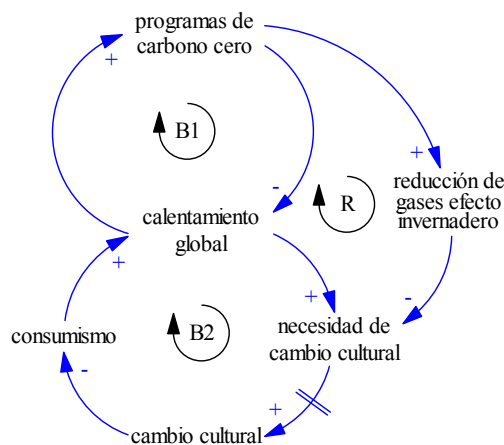
Note en el diagrama que la condición de salud reduce la necesidad de reducir el trabajo. Esto nos muestra como los efectos colaterales engeguen el sistema, haciéndole creer que existe la condición de bienestar.

Esta condición de bienestar es la que al sumarse con lo difícil que es reducir la carga laboral, encierra la dinámica del sistema en la opción de la solución, que realmente no es solución, aquí representada con el alcohol.

Recomendaciones:

Inicialmente, debe tratarse la situación como se hizo en las soluciones contraproducentes.

Use el arquetipo como herramienta de indagación para identificar algún grado de certeza de que efectivamente se está resolviendo el problema.



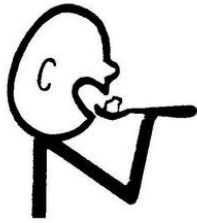
Evaluemos

Para cada uno de los siguientes fragmentos trate de construir un diagrama causal que represente el sistema en ellos presentado.

1. A comer con moderación

Uno de los grandes deleites de un hombre está asociado al verbo comer. La satisfacción individual a la que se puede llegar en la degustación de un plato bien preparado ha constituido esta actividad incluso como de pecado capital.

La actividad (comer) se va acumulando en nuestro aparato digestivo generando una sensación de bienestar que invita a seguirlo haciendo.

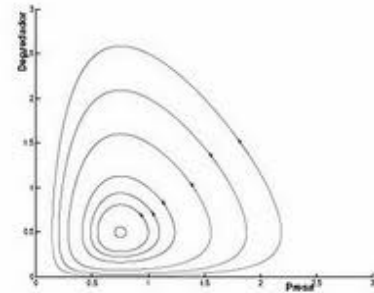


Pasado algún valor umbral, y ante la necesidad de seguirse deleitando, se pretende introducir un nuevo bocado en la boca, a lo que al parecer del sistema digestivo no debería seguirse haciendo.

El impulso inicial va decreciendo y con él el deseo de comer. Sin embargo, en el afán de seguir disfrutando, algunos hacen caso omiso de las señales de saturación y, entonces, este goloso individuo termina enfermando.

2. Modelo depredador-presa de Lotka- Volterra

Los modelos de depredador-presa más conocidos son los modelos de los investigadores Lotka y Volterra quienes descubrieron que la relación entre las poblaciones del depredador y de la presa están determinadas por la forma como la población de la presa determina los nacimientos del depredador incrementándolo, y por como la población de depredadores aumenta la cantidad de muertes de la presa.



3. La mano invisible de Adam Smith

La mano invisible de Adam Smith es una de las más famosas y utilizadas metáforas del entorno de negocios. Smith se dio cuenta de que el libre mercado crea poderosos circuitos de retroalimentación negativa que causan precios y beneficios que se autorregulan.



Smith argumentó que para cualquier producto existe un precio natural el cual es suficiente para pagar la renta del establecimiento, los salarios de las labores, y los beneficios del flujo de capital empleado en la elaboración y distribución del producto en el mercado.

Los precios del mercado que vienen dados por la relación de la oferta y la demanda para cada mercancía en un momento determinado, pueden ser mayores o

menores o exactamente iguales que el precio natural, es decir, los mercados en cualquier instante están fuera de equilibrio.

Lo primero que hizo Smith fue identificar como los precios responden al balance entre oferta y demanda:

Si la cantidad ofertada al mercado está por debajo de la demanda efectiva, el precio debe elevarse por encima de su tasa natural.

El precio comercial debe tender a igualarse con el natural. Si el precio comercial es más alto, los beneficios del producto crecen y con ellos, la producción. Así el precio comercial baja y se estabiliza con el precio natural.

Los beneficios son una categoría que engloba a aquellos ingresos que hacen trabajar al capital y los provenientes del capital a crédito.

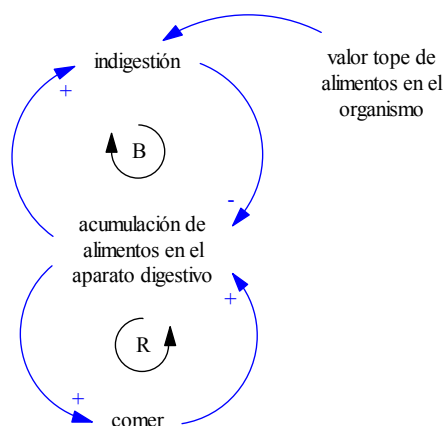
La demanda responde al valor relativo del producto comparado con el de los productos sustitutos; un alto valor relativo incrementa la demanda, esta última a su vez incrementa los precios, los cuales disminuyen el valor relativo.

La oferta se expande cuando los beneficios se elevan; el beneficio depende del precio relativo a los costos de producción incluyendo los requeridos en el retorno de capital. Una gran oferta disminuye los precios, reduciendo los beneficios.

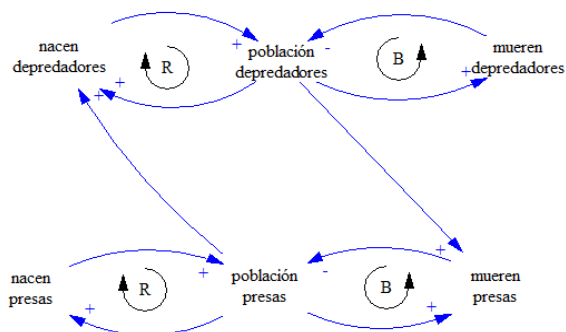
El precio de los sustitutos y el precio de la producción determinan lo que Adam Smith denominó el precio natural del producto, es decir, el precio de equilibrio sobre el cual la oferta y la demanda son iguales.

Respuestas

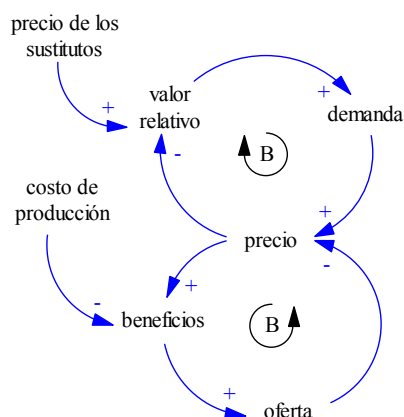
1. El diagrama causal de la narración obedece al arquetipo límites del crecimiento y se puede representar como sigue:



2. El modelo de Lotka-Volterra para especies en competencia suele representarse como sigue:



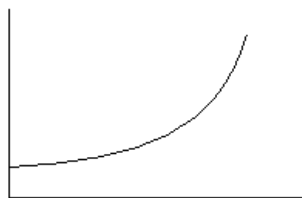
3. Una simple representación de la estructura de realimentación de Smith se muestra a continuación:



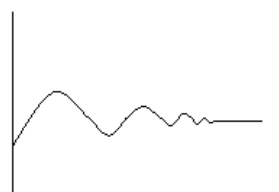
Comentemos

En grupos de máximo cuatro personas digan qué arquetipos se pueden aplicar para las siguientes pautas de conducta representadas gráficamente.

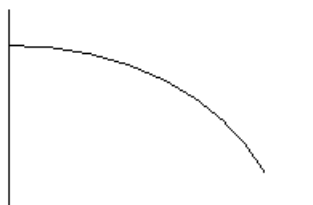
1. La variable importante se acelera hacia arriba con un crecimiento exponencial.



4. La variable se mueve oscilando o girando en torno de un objetivo único.

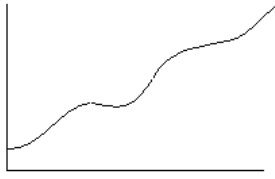


2. La variable importante se acelera hacia abajo hacia el colapso.

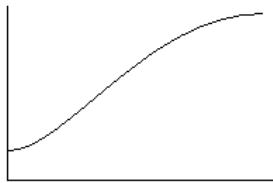


5. Alternamente el síntoma de un problema mejora y se deteriora.

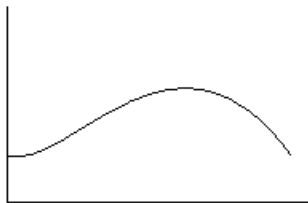
3. Hay movimiento sin retrasos de la variable hacia un objetivo.



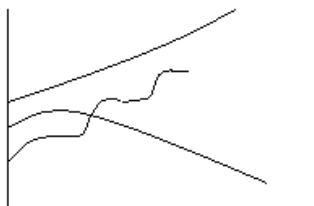
6. Hay crecimiento, a veces intenso, que se nivela.



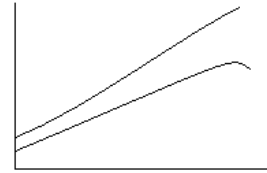
7. Hay crecimiento, a veces intenso, que declina.



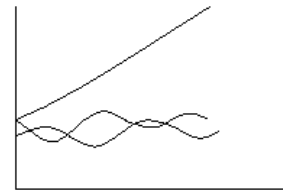
8. Coexisten tres patrones. La dependencia respecto de la solución inmediata se fortalece, mientras los esfuerzos para corregir el problema de raíz se debilitan, y el síntoma del problema mejora y se deteriora alternativamente.



9. La actividad total crece, pero las ganancias obtenidas a partir de actividades individuales disminuyen.



10. El desempeño de cada parte declina o permanece parejo y bajo, mientras que la rivalidad crece con el correr del tiempo.



Cuáles son los ciclos centrales o ciclos que impulsan la conducta de los siguientes arquetipos:

11. soluciones contraproducentes
12. límites al crecimiento
13. desplazamiento de carga
14. tragedia del terreno común

Respuestas

1. ciclo reforzador

Estructuras de Pensamiento Complejo

2. ciclo reforzador

3. ciclo compensador

4. ciclo compensador con retardos

5. soluciones contraproducentes

6. límites al crecimiento

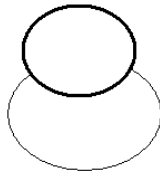
7. límites al crecimiento

8. desplazamiento de carga

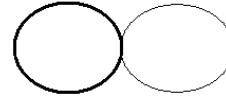
9. tragedia del terreno común

10. adversarios accidentales

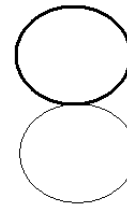
11. El ciclo compensador de la solución rápida.



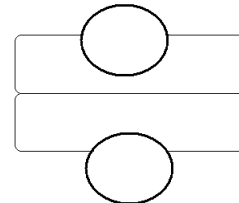
12. El ciclo reforzador de crecimiento.



13. El ciclo de balance de la solución rápida.



14. Los ciclos de los actores individuales.



Profundicemos

Este capítulo fue construido en el espíritu del grupo Sloan del MIT dirigido actualmente por John Sterman. Este grupo ha tenido en sus filas personas de la calidad de Peter Senge que ha escrito un par de libros muy buenos: la quinta disciplina y la quinta disciplina en la práctica. Aunque los dos son muy similares, el segundo tiene un muy especial énfasis en la adquisición de esas herramientas necesarias para implementar arquetipos en la vida real. Cualquiera de los dos es recomendable, de hecho, es un muy sano ejercicio leer los dos, sin temor a repetirse mucho.

Pérez, JA, Redondo, JM, Vargas, MT.

12. Diagramas de Niveles y Flujos

Los diagramas causales, como se vio, pueden pensarse como mapas sistémicos, y usarse para tener una primera aproximación cualitativa de los sistemas.

Sin embargo, entre más atributos son considerados, es decir, entre mayor es la complejidad del sistema, más difícil se hace la interpretación del diagrama de influencia.

Afortunadamente, el diagrama causal permite una reinterpretación gráfica, que denominaremos **Diagrama de Niveles y Flujos**, el cual puede ser pensado como la cuantificación del diagrama de influencia, a partir de la cual, es posible encontrar un conjunto suficiente de ecuaciones con las que se puede construir un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias, que a su vez permiten un estudio posterior más especializado desde la teoría conocida como: **Teoría De Los Sistemas Dinámicos No Lineales**.

Aprendamos

El diagrama de niveles y flujos es “el mismo diagrama causal”, o al menos debería serlo, pero en este primero se distinguen los atributos del diagrama causal como variables de nivel (variables de estado), flujos (razones de cambio), variables auxiliares y parámetros.

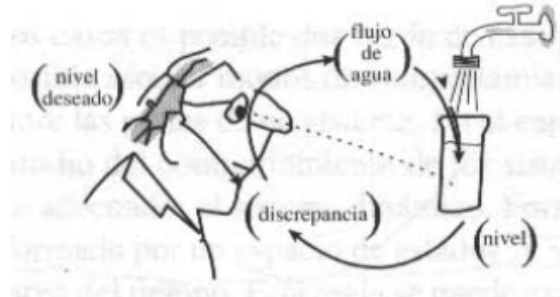
El nombre “niveles y flujos” y la forma de construir estos diagramas provienen de una analogía hidráulica que se puede representar en la siguiente figura, como lo muestra [2]:

En la figura, tenemos a un individuo al frente de la llave del agua pretendiendo llenar el vaso hasta cierto valor deseado.

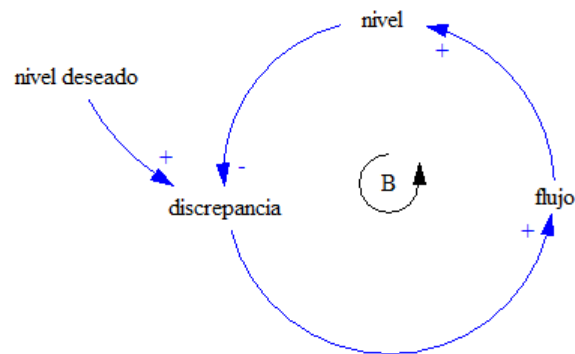
El hombre discrepa entre el nivel del agua en el vaso y el nivel que desea. Esta discrepancia le hará aumentar o disminuir el flujo del agua a través de la llave para obtener el recurso hídrico y almacenarlo en el vaso.



En la siguiente figura visualizamos el problema de una forma distinta:

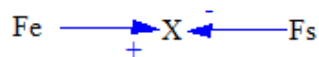


Lo cual nos da la idea del diagrama causal:

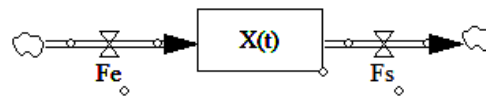


Ahora lo que debemos hacer es considerar cual de los cuatro atributos se acumula, es decir, cuál de los atributos de mi sistema permanece aún cuando detengamos el tiempo. Ese atributo es el nivel agua.

Lo siguiente que se considera es el atributo que acumula y des-acumula el vaso de agua, es decir, los flujos. Es fácil determinarlos porque los flujos corresponden a los atributos que están conectados a los niveles en relación causa efecto, respectivamente.

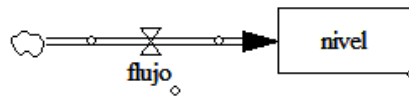


Produciendo un diagrama de niveles y flujos como el que se presenta a continuación:



En el esquema, las nubecitas representan una fuente infinita de información o recursos (a la izquierda) y un sumidero infinito de información o recursos (a la derecha).

En el caso del llenado del vaso de agua, el diagrama nos iría quedando del siguiente modo:



Note que no existe una válvula de salida porque el ejercicio no lo requiere.

También tenemos a las variables auxiliares que no son variables de estado (niveles), es decir no acumulan, pero que nos permiten decir algo importante del sistema.

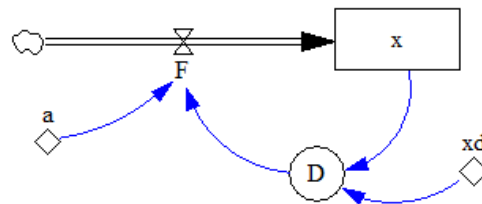
Por ejemplo, y retomando nuestro ejemplo del llenado del vaso de agua, la discrepancia es la diferencia entre el nivel deseado y el nivel real del vaso.

$$\text{Discrepancia} = \text{nivel deseado} - \text{nivel}$$

Finalmente, debemos considerar los que denominaríamos los parámetros del sistema.

Fácilmente podemos ver que el nivel deseado es un valor fijo del sistema y, que entonces, será uno de los parámetros. Pero también suelen considerarse otros, que usualmente se asocian a las razones de cambio o flujos, y que se denominan tasa de cambio.

Con estas consideraciones, el diagrama de niveles y flujos del ejemplo que hemos seguido es el siguiente:



Donde:

x := es el nivel del vaso

F := es el flujo del agua

D := es la discrepancia

x_d := es el nivel deseado de agua en el vaso

a := es la tasa de cambio

Note en este diagrama las convenciones distintas que se usan: una caja para la variable de estado, una llave para las razones de cambio, un círculo para las variables auxiliares y un rombo para los parámetros.

La interpretación de los diagramas suele hacerse usando los conceptos del cálculo y conduce a tres tipos de ecuaciones: las de estado, las de flujo y las de nivel.

La variable de estado es una acumulación de la diferencia entre lo que entra y lo que sale, lo cual se representa como sigue:

$$x(t) = x(t_0) + \int_{t_0}^t (\text{flujo de entrada} - \text{flujo de salida}) ds$$

O lo que en términos diferenciales sería lo mismo:

$$\frac{dx}{dt} = \text{flujo de entrada} - \text{flujo de salida}$$

A esta última se le denomina ecuación de nivel.

Continuando con nuestro ejemplo, la ecuación de nivel es la siguiente:

$$\frac{dx}{dt} = F$$

Los flujos se expresan en términos de los atributos que los alimentan dando lugar a la ecuación de flujo. En nuestro caso, el flujo sería una función de la discrepancia y de la tasa de cambio:

$$F = aD$$

Las variables auxiliares, al igual que los flujos, son funciones de los atributos que los alimentan y a las ecuaciones resultantes se les denomina ecuaciones auxiliares. Para el ejemplo tendríamos la que sigue:

$$D = x_d - x$$

Hasta este punto hemos construido un conjunto de ecuaciones que pueden cargarse en software especializados como *Vensim*, *Powersim*, *Stella* y otros más, a través de los cuales pueden hacerse simulaciones para diferentes valores de las condiciones iniciales y de los parámetros.

Sin embargo, uno puede dar un paso más (recomendado) y encontrar el sistema dinámico del problema, representado con una ecuación diferencial ordinaria. Para esto basta reemplazar las ecuaciones de flujo y las ecuaciones auxiliares en la ecuación de nivel.

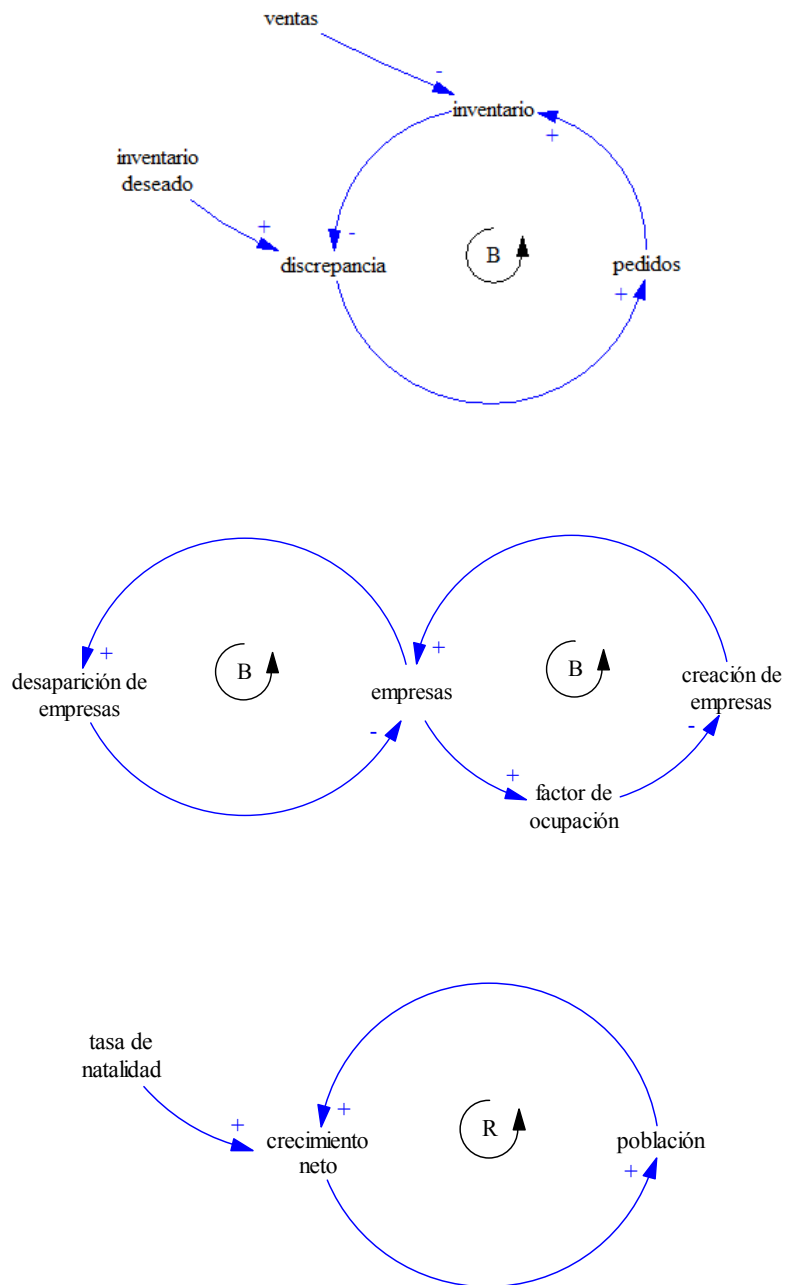
En nuestro ejemplo encontramos la siguiente ecuación diferencial ordinaria lineal de primer orden:

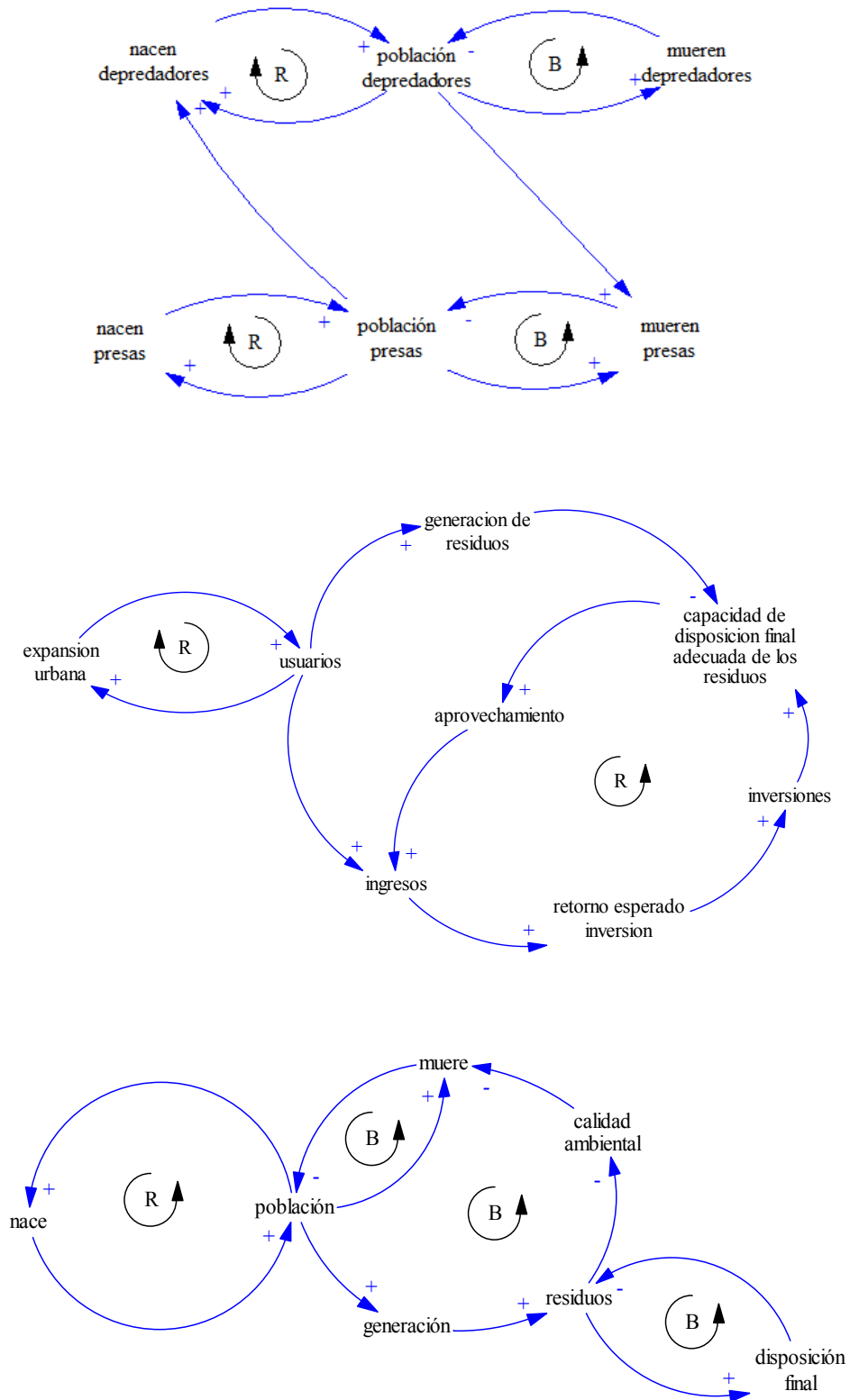
$$\frac{dx}{dt} = a(x_d - x)$$

A esta debe hacerse un análisis desde la teoría de los sistemas dinámicos para encontrar su riqueza en la comprensión del problema.

Evaluemos

Convierta los siguientes diagramas causales en diagramas de niveles y flujos, además, encuentre las ecuaciones.





Leamos

El problema que se trata de analizar consiste en el estudio del crecimiento económico de un área industrial. El problema está asociado al arquetipo “crecimiento limitado” que, como estudiamos anteriormente, consiste en un rápido crecimiento inicial y una posterior estabilización del desempeño. Esto conduce a un comportamiento sigmoideo de la variable de estado. El modelo es tomado del libro de Aracil y Gordillo.

Se supone un área de superficie limitada en la que se produce un proceso de establecimiento de empresas. Como consecuencia de ello el número de las empresas crece. Este crecimiento viene afectado por el grado de ocupación del área, de modo que cuando hay todavía pocas empresas es fácil el establecimiento de nuevas, mientras que cuando el área está prácticamente ocupada se producen fenómenos de saturación que tienden a limitar el crecimiento. Por otra parte, se supone que se produce un flujo, relativamente pequeño de desaparición de empresas, por obsolescencia, quiebra o razones análogas [Aracil y gordillo pág. 110].

Diagrama Causal

De acuerdo con la descripción anterior es posible considerar la construcción de las cinco sentencias causales que se presentan a continuación:

E1: La creación de empresas influye sobre el número de empresas. Esta relación es apenas natural porque entre más empresas se creen más empresas habrá.

E2: El factor de ocupación del terreno, influye sobre la creación de Empresas. Si el factor de ocupación es pequeño su influencia sobre la creación de empresas es creciente; mientras que si es grande es decreciente. Por lo tanto, se tratará de una relación causal que no tiene

signo definido. Para valores pequeños del factor de ocupación la relación es positiva, mientras para valores grandes la relación será negativa.

E3: El número de empresas influye sobre el factor de ocupación. A mayor número de empresas mayor será el factor de ocupación.

E4: El número de empresas influye sobre su eventual desaparición. Se trabajará sobre el supuesto que desaparecerá una fracción de las empresas establecidas.

E5: La desaparición de empresas influye sobre su número. Nuevamente es una relación natural en la que la desaparición de empresas disminuirá el número de empresas.

En la descripción realizada a través de sentencias causales se pueden distinguir los atributos del sistema en estudio: la creación de empresas (CE), el número de empresas (NE), el factor de ocupación (FO) y la desaparición de empresas (DE). Estas sentencias causales se pueden representar como relaciones causales como se muestra a continuación:

E1: CE \rightarrow^{+} NE

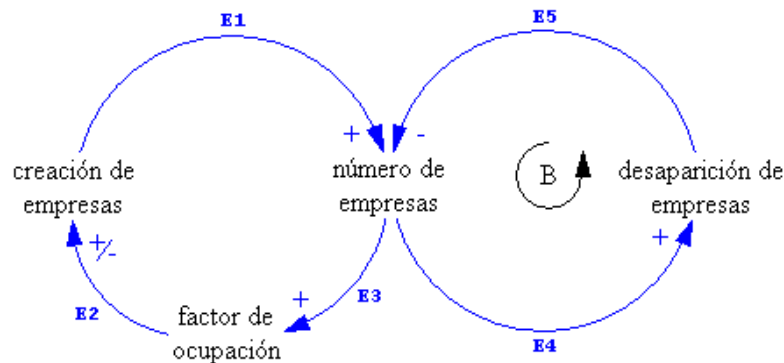
E2: FO \rightarrow^{+} CE

E3: NE \rightarrow^{+} FO

E4: NE \rightarrow^{+} DE

E5: DE \rightarrow^{-} NE

Estas relaciones causales se organizan en una representación gráfica que ya hemos denominado anteriormente diagrama causal:



Este diagrama tiene como ventaja la fácil comunicabilidad que tiene para todos los interesados en el proceso. En el consideramos un bucle de retroalimentación de balance del sistema que básicamente nos dice que el terreno sobre el que se construirá la industria es limitado y que el crecimiento industrial tiene un tope.

Por otro lado, si el bucle de la izquierda es positivo, tenemos el típico arquetipo límites al crecimiento y este sería el bucle de refuerzo del sistema. Pero si el bucle fuera negativo tendríamos dos balances hacia los que tendería el sistema, uno por cada bucle.

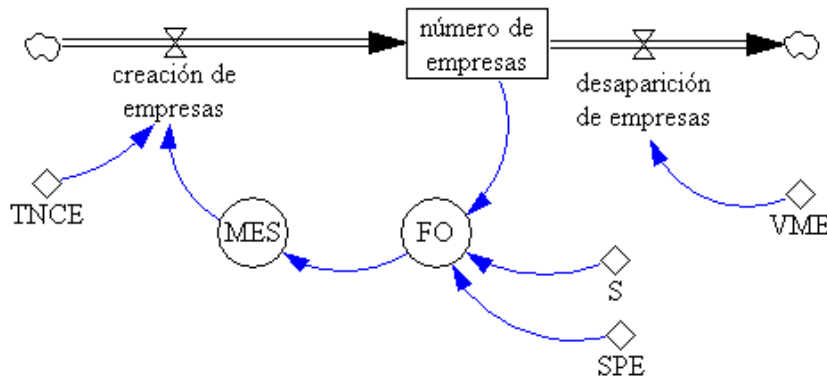
Diagrama de niveles y flujos

A partir de este se avanza en la construcción del diagrama de niveles y flujos que no es otra cosa que la cuantificación del diagrama causal.

Para esto, es necesario identificar las variables de estado del sistema, es decir, las variables por medio de las cuales es posible conocer el sistema. Estas variables son cantidades que se acumulan, como en nuestro caso, el número de empresas.

También se identifican los flujos o razones de cambio del sistema, que son losa tributos del diagrama causal que acumulan o desacumulan las variables de estado. En nuestro ejercicio los flujos son dos: la creación de empresas y la desaparición de empresas.

Finalmente se identifican las variables auxiliares, que para este caso de estudio es solamente una: el factor de ocupación. Con esta información se construye el siguiente diagrama:



Donde TNCE es la tasa normal de creación de empresas, S es la superficie edificable, SPE es la superficie media por empresa y VME es la vida media por empresa. Estos valores son los parámetros del modelo. A continuación se presentan los valores para realizar las simulaciones:

$$TNCE=0,05$$

$$S=100.000$$

$$SPE=375$$

$$VME=15,1515$$

Ecuaciones del modelo

A partir del diagrama de niveles y flujos se construyen un conjunto de ecuaciones en consenso con los expertos que describirán la evolución temporal del sistema. El primer conjunto de ecuaciones se denomina las ecuaciones de nivel, que se describe a continuación.

El número de empresas es una cantidad que acumula la creación de empresas y des-acumula la desaparición de empresas. Esto se expresa como sigue:

$$NE(t) = NE(0) + \int_0^t (CE(s) - DE(s))ds$$

Su lectura se hace de la siguiente manera: la acumulación total del número de empresas es la suma de las existentes en el tiempo cero y las que se acumulen desde ese momento hasta un tiempo t por la diferencia entre las que se crean y las que desaparecen. O, lo que es lo mismo:

$$\frac{d}{dt}NE = CE - DE$$

Que se lee “el cambio en el número de empresas es la diferencia entre la creación y la desaparición de empresas”.

Ahora se prosigue con las ecuaciones de flujo. Los flujos en nuestro ejercicio son dos, la creación y la desaparición de empresas.

Sus ecuaciones, según lectura en el diagrama de niveles y flujos son las siguientes:

$$CE = TNCE \cdot NE \cdot MES$$

$$DE = \frac{NE}{VME}$$

Finalmente las ecuaciones auxiliares. La primera es la del multiplicador de empresas en función de la superficie edificada (MES), que como se ve en el diagrama de niveles y flujos es una función del factor de ocupación:

$$MES = f(FO)$$

La relación funcional que existe entre el factor de ocupación y el multiplicador MES se representa en la siguiente tabla:

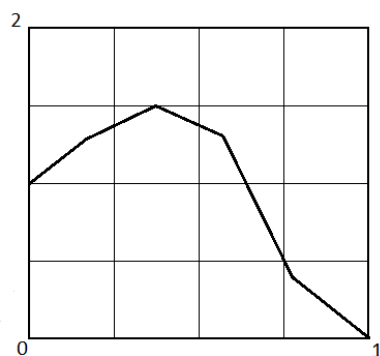


Tabla del multiplicador MES

En esta gráfica se representa el efecto que ejerce el factor de ocupación del área industrial sobre la creación de empresas.

De acuerdo con esta gráfica para valores pequeños del factor de ocupación (FO), el multiplicador MES crece conjuntamente con FO; sin embargo, a partir de un valor específico de FO, el multiplicador decrece con el aumento del factor de ocupación hasta anularse cuando toda el área está edificada, es decir,

$$FO = 1$$

Note que la función f introduce una no linealidad en el sistema y es lo que se conoce en dinámica de sistemas como una función tabla.

El factor de ocupación se identifica con la siguiente ecuación:

$$FO = \frac{NE \cdot SPE}{S}$$

De esta forma se puede llegar a la siguiente ecuación diferencial ordinaria de primer orden no-lineal que representa la dinámica del sistema:

$$\frac{d}{dt} NE = TNCE \cdot NE \cdot f\left(\frac{NE \cdot SPE}{S}\right) - \frac{NE}{VME}$$

Cambio de notación y estudio de la ecuación

Para simplificar la notación realizaremos el siguiente cambio:

$$x := NE$$

$$m := 1/VME = 0,066$$

$$n := TNCE = 0,05$$

$$k := SPE/S = 375 \times 10^{-5}$$

Con lo que obtenemos la ecuación de estudio de este apartado:

$$\dot{x} = n \cdot x \cdot f(kx) - m \cdot x$$

Los equilibrios de este sistema satisfacen la ecuación $\dot{x} = 0$, es decir,

$$n \cdot x \cdot f(kx) - m \cdot x = 0$$

$$x \cdot (n \cdot f(kx) - m) = 0$$

$$x = 0 \quad f(kx) = \frac{m}{n} = 1,32$$

Entonces,

$$f(kx) = \frac{m}{n}$$

$$kx = f^{-1}\left(\frac{m}{n}\right)$$

$$x = \frac{1}{k} f^{-1}\left(\frac{m}{n}\right)$$

Recordemos que f es la función tabla. Note que 1,32, es la imagen de dos puntos a saber

$$\hat{x}_2 = f^{-1}\left(\frac{m}{n}\right) = 0,2325$$

y

$$\hat{x}_3 = f^{-1}\left(\frac{m}{n}\right) = 0,56625$$

Con lo que encontramos los otros dos equilibrios:

$$x_2 = \frac{\hat{x}_2}{k} = 62; \quad x_3 = \frac{\hat{x}_3}{k} = 151$$

Es decir, los equilibrios de nuestro sistema son:

$$x_1 = 0; \quad x_2 = 62; \quad x_3 = 151$$

A los cuales, después de hacerles el análisis de estabilidad se les determinó la siguiente: x_1 y x_3 son estables, x_2 es inestable. Esto se representa en el siguiente diagrama denominado retrato de fase:

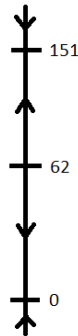


Diagrama de bifurcaciones

Teníamos que los equilibrios eran dados por las soluciones de:

$$n \cdot x \cdot f(kx) - m \cdot x = 0$$

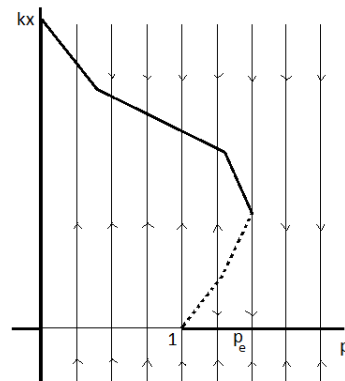
Cuyas soluciones son:

$$x = 0 \quad f(kx) = \frac{m}{n} = p$$

De donde definimos el parámetro p . La última ecuación nos conduce a:

$$kx = f^{-1}(p)$$

Recordemos que f es la función tabla, lo que nos permite llegar a un diagrama de bifurcaciones:



La simulación del modelo para un único conjunto de parámetros representa un escenario del problema; pero nosotros deseamos ver todos los posibles escenarios del sistema. Es por ello que utilizamos los diagramas de bifurcación de la teoría de los sistemas dinámicos, ya que en ellos es posible ver el conjunto de todos los escenarios posibles y, por lo tanto, garantizar que la toma de decisiones se realizará sobre el conocimiento de todas las posibilidades.

Este diagrama nos dice como cambia la estructura dinámica del sistema (puntos de equilibrio y estabilidad) en la medida en la que se varía uno de sus parámetros o una relación entre ellos como en nuestro caso, en el que la relación entre la vida media empresarial y la tasa normal de creación de empresas se denominó p . A partir de este diagrama podemos hacer el siguiente análisis:

- Para valores de p entre cero y uno el sistema tiene un único valor de equilibrio en kx hacia el que tiende todo el sistema. Entre más cercano a cero, mayor será el número de empresas en el sector. Para ello basta que la TNCE sea muy grande o que la VME sea muy grande.
- Para valores de p entre uno y un valor denominado p_e el sistema se hace biestable, lo cual significa que debemos estar por encima del valor inestable para tender a un estado de equilibrio positivo en el que exista un número importante de empresas o, de lo contrario, el número de empresas tenderá a desaparecer.

- Si los valores de p están por encima de p_e el número de empresas tenderá a hacerse nulo con lo cual no se habrá cumplido con el objeto del caso.

Conclusiones

Hemos estado estudiando aquí un problema en el que se debe decidir, a partir de la simulación, las políticas que se deben establecer para ocupar el área que se estableció para el desarrollo industrial de una región.

En ese orden de ideas, hacer los famosos ensayos que desde el error nos digan que hacer podría resultar muy costoso, porque este desarrollo industrial en una región está vinculado a muchos otros procesos de carácter social como por ejemplo la educación y los servicios públicos.

Entonces tener una herramienta como el diagrama de bifurcaciones, es de mucha utilidad. Él en sí mismo es un mapa de las posibilidades dinámicas del sistema y, por lo tanto, un instrumento que nos permitirá proponer un escenario deseado y las acciones que se deben tomar para que los parámetros del sistema que determinan ese comportamiento dinámico deseado permanezcan en el tiempo.

Observemos

Después del ejemplo anterior, parece mucho más claro, que ese tratar de entender bien que citábamos en la primera parte de este libro, implica la utilización de todas esas herramientas que ayudan a la comprensión, de las cuales solo hemos hecho uso de unas muy escasas, y que aún utilizando un buen conjunto de esas herramientas, la comprensión, el entender bien, sigue siendo utópico.

Sin embargo, también hemos logrado ver en el ejemplo anterior, que para la vida práctica, el tratar de entender bien, y ser tan honesto como no lo permitan nuestras herramientas, mejora notoriamente los procesos de decisión.

En esta última sección del libro, explique como la comprensión mejora la toma de decisiones y el diseño de estrategias, además realice un balance de lo aprendido a lo largo

de todo el libro y concluya si siente, al menos en principio, el cambio de su estructura mental.

Comentemos

Haciendo uso de software especializado para la dinámica de sistemas como por ejemplo Vensim, Stella, iThink, Powersim, u otros, trate de construir un diagrama de niveles y flujos para los ejercicios del **Comentemos** del capítulo anterior, usando la misma dinámica de grupos. Para la construcción de funciones, vélgase de la ayuda del instructor o director de la actividad.

Comparen los resultados de las simulaciones con los acontecimientos que sobre esos temas se pueden evidenciar y presenten las simulaciones y las conclusiones frente a todos los participantes de la actividad.

La parte interesante del ejercicio está en el momento en el que es uno el que se presenta delante de los pares y tiene que hacer la ponencia de lo que hizo. Trate en ese momento de no emocionarse, pues en este ejercicio: “el que se emociona pierde”, además de que cada comentario muestra el interés de los asistentes y la calidad de nuestra puesta en escena.

Profundicemos

En la web, es posible encontrar, para libre descarga, algunos materiales de trabajo conocidos como “road maps”, que fueron elaborados por investigadores del MIT. Tales documentos son una guía asertiva para el aprendizaje de la construcción de diagramas de niveles y flujos, pero también de diagramas causales. Incluso en estos materiales se tocan temas complementarios a los mencionados en este libro.

Bibliografía

- Bertalanffy, Ludwig Von (1994). Teoría General de los Sistemas, Fondo de Cultura Económica Ltda., Bogotá D.C.
- Burón, Javier (1998). Enseñar a Aprender: Introducción a la metacognición, sexta edición, Ediciones Mensajero, Bilbao, España.
- Castañeda C. (1974). Las enseñanzas de Don Juan, fondo de cultura económica, Buenos Aires.
- Castro Chadid, Iván y Pérez Alcázar Jesús Hernando (2007). Un paseo finito por lo infinito, el infinito en matemáticas, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.
- Darwin, Charles (2004). El origen de las especies, libros en red.
- Descartes R. (1987). Discurso del método, Editorial Universidad de Puerto Rico, San Juan.
- Eglash Ron, (1999). African Fractals, modern computing and indigenous design. Library of Congress Catalogin in publication data: USA.
- Ferrara, Francisco (2000). El desafío de la Complejidad, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, <http://ar.geocities.com/adicciones2001/complejidad.htm>, Buenos Aires.
- Fox Keller, Evelyn (1994). La paradoja de la subjetividad científica, en Nuevos paradigmas, cultura y subjetividad, editorial Paidós, Barcelona, p. 151.
- Friedlander, Amy y Morra, Linda (2001). Evaluaciones mediante Estudios de Caso, original en inglés, traducido al español por PREVAL II, Departamento de Evaluación de Operaciones del Banco Mundial, OED, Banco Mundial, Washington, D.C.

- García, Rolando (2000). Sistemas complejos: Conceptos, Método Y Fundamentación Epistemológica De La Investigación Interdisciplinaria. Gedisa Editorial S.A.: Barcelona.
- Gardner, Howard (2007). Estructuras de la mente, La teoría de las inteligencias múltiples, Fondo de Cultura Económica, México.
- Goldratt Eliyahu, Cox Jeff (2005). La Meta, tercera edición, editorial Díaz de Santos, Barcelona.
- Kuhn, Thomas (1992). La estructura de las revoluciones científicas, Fondo de cultura económica, Bogotá D.C.
- Maldonado, Carlos (2000). Esbozo de una filosofía de la lógica de la complejidad, Universidad el Bosque, Bogotá D.C.
- Morin, Edgar (2003). El Método 5. La Humanidad de la Humanidad, Madrid, Editorial Cátedra, Bogotá D.C., p.333.
- Morin, Edgar (2002). El Método, El conocimiento del conocimiento, Editorial Cátedra, Madrid.
- Morin, Edgar (1999). El Método, la Naturaleza de la Naturaleza, Ediciones Nueva Visión, Buenos aires.
- Morin, Edgar (2005). El Paradigma Perdido, Ensayo de Bioantropología, Editorial Kairos S.A., Barcelona.
- Morin, Edgar (1998). Introducción al pensamiento complejo, Editorial Gedisa, Barcelona.
- Morin, Edgar (2001). La Cabeza Bien Puesta, Repensar la reforma, reformar el pensamiento, Bases para una reforma educativa, Editorial Nueva Visión, Buenos Aires.
- Morin, Edgar (2001). Los Siete Saberes Necesarios para la Educación del Futuro, Cooperativa Editorial Magisterio, Bogotá D.C.
- O'Connor, J. y McDermott, I. (1998). Introducción al pensamiento sistémico, recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas. Editorial Urano: Barcelona.

- Ramírez Hernández, Víctor Florencio y Sosa Peinado, Eurídice (2006). CTSyV y Pensamiento Complejo: más allá de lo disciplinario. Memorias del I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación, México.
- Ramírez Hernández, Víctor Florencio (2008). ¿Qué son las categorías?, publicación web, México.
- Rescher, N. (1998). Complexity, A philosophical overview. Transactions publishers. New Brunswick/London.
- Silva, Armando (2006). Imaginarios Urbanos, Arango Editores Ltda., Bogotá D.C.
- Solé, Ricard (2009). Redes Complejas. Metatemas Tusquets Editores: Barcelona.
- Taleb Nassim Nicholas (2008). El Cisne Negro. Ediciones Paidós Ibérica S.A.: Barcelona.
- Zemelman, Hugo. (1987). El uso crítico de la teoría. En torno a las funciones analíticas de la totalidad. Primera Edición. Universidad de las Naciones Unidas / Colegio de México, México, p 97.